



Eesti Maaülikool

Estonian University of Life Sciences

Tehnikainstituut
Institute of Technology

www.emu.ee



RUUMI TEHISVALGUSTUSE MÕJU TÖÖVILJAKUSELE

TARTU 2017

Autoriõigus: Eesti Maaülikool, 2017
ISBN: 978-9949-569-91-5

EESSÕNA

Nüüdisajal veedab töötaja suurema osa oma ärkveloleku ajast tööl. Sellepärast on oluline suuremat tähelepanu pöörata töötingimustele, et töötaja tervis ei saaks kahjustatud ja tema töövõime näitajad püsiks võimalikult kõrgel tasemel, tagamaks kõrge tööviljakus. Ruumide sisekeskkond peab olema tööülesande täitmiseks sobiv nii suvel kui talvel. Sobiva sisekeskkonna loomisel tuleb arvestada tehnoloogilise protsessi ja täidetava tööülesande laadi, töötajate vaimset ja füüsilist koormust, tööruumi suurust ja töötajate arvu ruumis ning töökohtade ergonoomilist kujundust, samuti töövahendite mugavust ning ohutust. Tööruumide valgustus võib vähendada töötajate tööviljakust nii otseselt kui kaudselt.

Kuna Eesti tingimustes tuleb ligi kolmveerand aastat kasutada tööruumides tehisvalgust, on oluline töötajate kõrge tööviljakuse säilitamiseks pöörata tähelepanu ruumi tehisvalgustusele. Nägemise kaudu saab inimene ca 90% infost, mida ta kasutab oma töös. Kuigi valgusele reageerib vahetult esmajoones inimese silm, avaldub valguse mõju kogu organismile, sest nägemisorgani töö on tihedalt seotud kesknärvisüsteemiga (KNS), kus toimub info vastuvõtmine ja analüüs ning vastavalt sellele koordineeritud motoorne tegevus. Sobimatu töökoha valgustus põhjustab silmade ja KNSi ülekoormust. Pikaajaline töötamine puudulikult valgustatud ruumis põhjustab silmade väsimist, nägemisteravuse langust, topelnägemist ning võib põhjustada peavalu ja peapööritust. Silmade kipitus ja KNS kurnatus põhjustab keskendumisraskusi, vähendades töötaja töövõimet ja tööviljakust ning töötaja kasutegur tööandjale langeb. Kahjuks ei taju inimene mitte alati, et viga on valgustuses, vaid hakkab otsima oma ebamugavustunde põhjusi mujalt. Tööruumi valgustuse parendamisel suurenevad nii silma kontrastitundlikkus, nägemisteravus ja tajumiskiirus kui ka nägemise stabiilsus.

Kiire tehnika areng loob järjest juurde kuvariga töökohti, kuhu on vajalik projekteerida ergonoomilisi valgustuslahendusi. Samuti on vajadus olemasolevaid valgustuslahendusi jooksvalt uuendada, kasutades uusi tehnilisi ja innovatiivseid vahendeid. Paljudes asutustes on saamas standardiks mitme kuvariga kujundatud arvutitöökohad. Seetõttu on oluline uurida kuvariga töötajate töökeskkonda ja töötamiskoha valgustatuse tingimusi just tehisvalgustuse kontekstist, sest loomulikku valgust on meie kliimas vähe.

Uuringu raames mõõdeti kümnes riigiasutuses (büroo- ja koolihoonete tööruumides) tehisvalgustuse näitajaid. Loomulikku valgustust ja tööviljakust hinnati bürooruumides ja õppeasutustes kuvariga töötajatel, eesmärgiga välja selgitada ruumi tehisvalgustuse mõju inimese tööviljakusele.

Ergonoomiliste valgustuslahendusega saab tõsta mitte ainult töötajate tööviljakust (rahuolu ja motivatsiooni taset), vaid ka tagada paremat tervist ja töövõimet ning seeläbi suurendada riigi majanduskasvu ja konkurentsivõimet tööturul.

Nooremteadur Triinu Sirge, *MSc, Eur.Erg.*

Prof. Eda Merisalu, *PhD*

Nooremteadur Riin Raimla, *MSc*

Spetsialist Märk Reinvee, *MSc*

Evelin Teras, *MSc*

SISUKORD

EESSÖNA.....	3
TÄHISED JA LÜHENDID	5
1. MÕISTED JA MÄÄRATLUSED	6
1.1. Töövilkus ja töötingimused	6
1.2. Valgustatuse mõisted.....	9
1.2.1. Valgustustihedus	9
1.2.2. Värvsustemperatuur	9
1.2.3. Värviesituse üldindeks	10
1.2.4. Diskomforträägus.....	10
1.2.5. Värelus	11
1.3. Töövõime	11
2. VALGUSTATUSE MÕJU TÖÖVILJAKUSELE JA JÕUDLUSELE.....	12
2.1. Valgustustingimuste otsene mõju.....	12
2.1.1. Nägemisvõime.....	12
2.1.2. Nägemismugavus.....	16
2.2. Valgustustingimuste kaudne mõju.....	16
2.2.1. Tsirkaadrütmi olemus ja mõju	16
2.2.2. Tsirkaadrütmi faasinihe.....	20
2.2.3. Psühho-bioloogilised mõjud	22
3. METOODIKA.....	30
3.1. Uurimisobjektid, uuritavad, ankeetmeetod.....	30
3.2. Valgustustiheduse, värvsustemperatuuri ja värviesituse üldindeksi mõõtmised	31
3.3. Valgustitest tuleva heleduse mõõtmised ja diskomforträäguse leidmine.....	31
4. ANKEETKÜSIMUSTIKU TULEMUSED	33
5. TEHISVALGUSTUSE MÕÕTMISE TULEMUSED	40
5.1. Asutuste valgustuslahendused.....	40
5.2. Valgustustihedus, värvsustemperatuur ja värviesituse üldindeks	41
5.3. Diskomforträäguse mõõtmistulemused	44
6. LAMPIDE VALIK JA VALGUSTITE PAIGUTUS	45
JÄRELDUSED JA SOOVITUSED	50
KOKKUVÕTE.....	50
KIRJANDUS.....	56

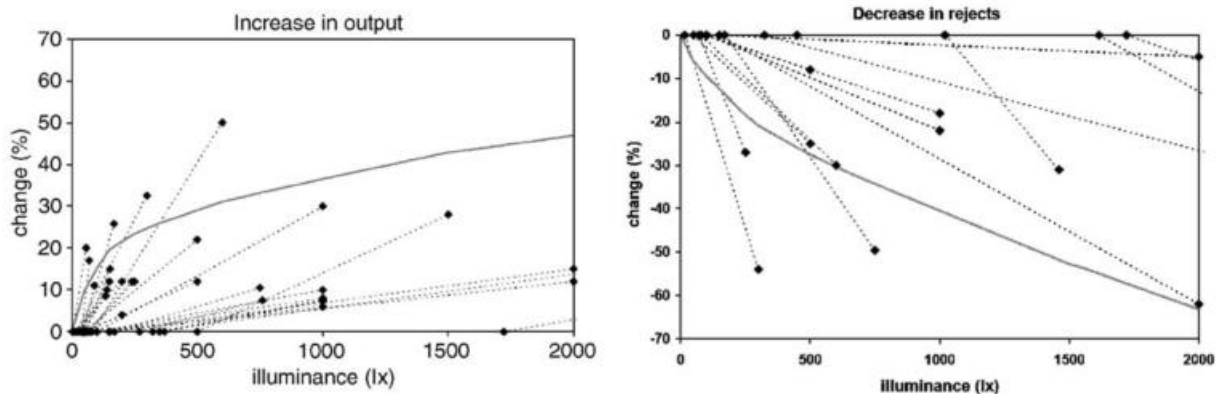
TÄHISED JA LÜHENDID

E_v	- <i>Illuminance</i> , valgustustiheduse tähis
L	- <i>Luminance</i> , heledus
n	- uuritavate arv
ρ	- statistilise olulisuse tõenäosus
ρ	- roo, Spearmani korrelatsioonikordaja tähis
R_a	- <i>Colour Rendering Index</i> , värviesituse üldindeks
T_{CP}	- <i>Correlated Colour Temperature</i> , värvsustemperatuuri tähis
UGR	- <i>Unified Glare Rating</i> , rägustegur
WAI	- <i>Work Ability Index</i> , töövõime indeks

1. MÕISTED JA MÄÄRATLUSED

1.1. Tööviljakus ja töötingimused

Tihti peale täheldatakse tööruumide renoveerimise järgselt, et inimeste soov tööd teha on suurenenud. Seda eriti tootmises, kus töösooritust on konkreetsete mõõdikute (toodangu) olemasolu tõttu võrdlemisi lihtne mõõta. Sageli kirjutatakse vähemalt osa sellest muutusest valgustuse arvele. Joonisel 1 esitatud näidete põhjal võiks esmapilgul järeldada, et valgustustiheduse suurendamine on üheselt mõistetavalt kasulik, kuna sellega kaasneb kindlasti tootlikkuse suurenemine või/ja eksimuste ning praagi vähenemine. Samas, jooniseid vaadates, on ilmne, et näidete lõikes on saadavate hüvede varieeruvus suur ning mõistmata nähtuse olemust ei ole võimalik kuidagi saadavate hüvede hulka ennustada.

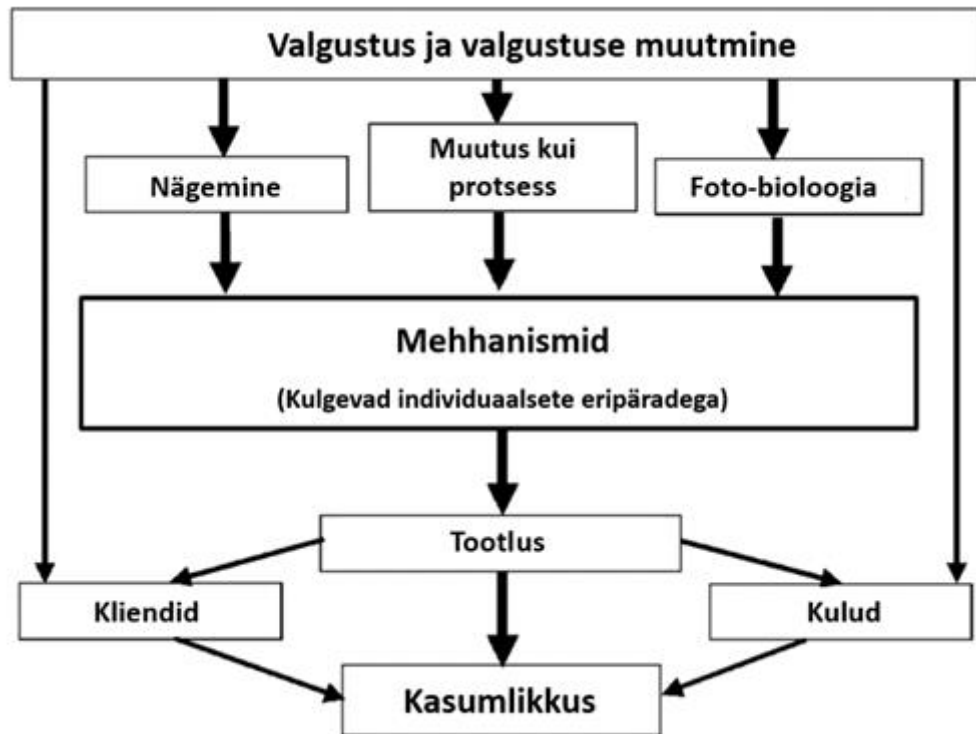


Joonis 1. Uuringute kokkuvõtteid tööstusest: vasakul - valgustustiheduse suurendamise mõju tootlikkuse suurenemisele (n = 29); paremal – valgustustiheduse suurendamise mõju praagi vähenemisele (n = 15) (Juslén & Tenner, 2005).

Juslén ja Tenner (2015) pakuvad tootmisettevõttes valgustuse ja tootlikkuse vaheliste seoste kirjeldamiseks võrdlemisi lihtsat mudelit (joonis 2) – lisaks otsestele (nägemisvõime ja nägemismugavus) ja kaudsetele (valguse fotobioloogiline mõju tsirkaadrütmile) mõjutab töötaja tootlikkust ka muutus iseenesest. Viimane põhineb kahel psühholoogias tuntud nähtusel – *Hawthorne'i* efektil (inimesed muudavad oma käitumist kui nendega tegeletakse või nende tegevust jälgitakse) ja *Halo* efektil (nt. usuga, et uus tehniline lahendus on parem kui vana, kaasneb arvamus selle tootlikkust parandavast toimest). Mudelist lähtuvalt on võimalik tuletada järgmised mõjud ja viisid:

- **Nägemisvõime** – kui nägemisülesannet on paremini näha, on töötajatel võimalik saavutada suurem tootlikkus.
- **Nägemismugavus** – ebamugavust vähendades parenevad võimalused keskendumiseks.
- **Nähtav ümbrus** – valgustatus mõjutab muljeid ümbritsevast keskkonnast, mis mõjutab omakorda meeleolu ja heaolu.
- **Inimsuhted** – valgustustingimused mõjutavad inimeste väljanägemist, see kuidas inimesed välja näevad mõjutab seda, kuidas inimesesse suhtutakse. Inimeste vahelised suhted mõjutavad koostööd.
- **Tsirkaadrütm** – valgus korrigeerib inimese bioloogilist kella, millel on teatud aegadel mõju tootlikkusele.
- **Stimulatsioon** – valgus stimuleerib füsioloogilisi ja psühholoogilisi protsesse, mis võivad parendada tootlikkust.

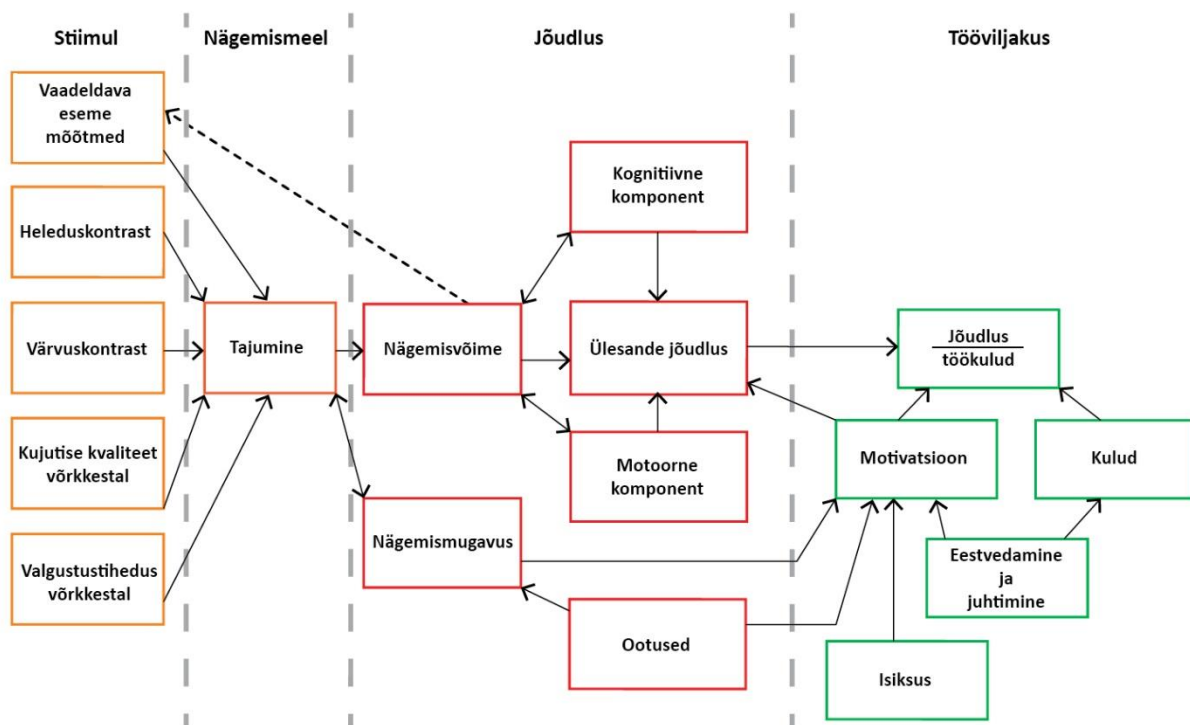
- **Tööga rahulolu** – valgustustingimuste parendamine ja valgustuse juhtimise võimaluste suurendamine võib tähtsustunde ja suureneva autonoomia kaudu suurendada tööga rahulolu, millel on mõju tootlikkusele.
- **Probleemide lahendamine** – lahendades töötajate kaebused olemasolevate valgustustingimuste osas, suureneb heaolu ja motivatsioon, mis parendab tootlikkust.



Joonis 2. Mudel valgustuse ja selle muutmise mõjust kasumlikkusele (tõlge allikast: Juslén & Tenner, 2005).

Eeltoodud mudelis seotakse tootlus tööviljakusega (joonisel 2 kujutatud kast „kasumlikkus“ (ingl. k *profitability*) kulude kaudu. Sellist terminoloogiat kasutamist toetab ka õigekeelsussõnaraamat, mis defineerib tööviljakuse kui mingis ajaühikus valmistatud toodangu suhe töökuluga (ÕS, 2013). Sarnast lähenemist kasutab ka joonisel 3 kujutatud mudel. Kuna see on mõeldud kirjeldama ka tootmissfäärist välja poole jäävaid valdkondi kasutatakse konkreetsete, töö mõõtmise, ühikute puudumisel edaspidi termini *performance* eesti keelde tõlgitud vastet jõudlus. Tööviljakuse suurendamiseks on kaks võimalust, selleks tuleb suurendada jõudlust või vähendada töökulusid. Valgustuse kontekstis, saame töökulude vähendamise puhul rääkida vaid elektrienergia kokkuhoiust.

Joonisel 3 on esitatud nägemisstiimuli omaduste, nägemisvõime, ülesande soorituse ja tööviljakuse seosed. **Stiimul** on tegevusele virgutav mõjur (ajend). See on ärritaja, mis tekitab organismis silma võrkkestal nii füsioloogilise kui ka psühholoogilise vastureaktsiooni. Nägemisstiimul sõltub vaadeldava eseme (objekti või kujutise) mõõtmetest, objekti heledus- ja värvuskontrastist (kui hästi objekt taustast erineb). Stiimuli mõju sõltub silma jõudvast valgustustihedusest ja kujutise kvaliteetidist silma võrkkestal. Stiimuli summaarne mõju väljendub tajuprotsessi kaudu nägemisvõime ja nägemismugavusena. Mudeli parameetrite põhjalik käsitus on esitatud peatükis 2.



Joonis 3. Nägemisstiimuli omaduste, nägemisvõime, ülesande soorituse ja tõoviljakuse seosed (tõlge allikast: Boyce, 2012).

Boyce (1996) leiab, et valgus saab mõjutada ainult töö visuaalset komponenti ning visuaalse komponendi tähtsus sõltub kolmest tegurist:

- **osakaal** - kui suur on visuaalse komponendi suhteline osa kogu tegevusest (nt teksti sisestamine dikteerimise või dokumendi põhjal)
- **olulisus** - kui suur on visuaalse komponendi mõju lõpptulemusele (nt trükipaadi visuaalkontrollile kuluv aeg tootmisahelas on proportsionaalselt tunduvat väiksem, kuid selle õnnestumisel on oluline mõju reklamatsioonikuludel)
- **rõhuasetus** - milline nägemisülesande osa on kõige olulisem, (nt valgustustihedus väikse ja madala kontrastiga teksti lugemisel või värvieristus rõivatööstuses)

On intuiivselt mõistetav, et pole võimalik võrrelda näiteks tootmistöölise tootlust ja ametniku jõudlust. Kuid võrdluseks sobivate mõõdikute puudumine ei ole selle juures kõige olulisem. Lihtsam on seda mõista siis kui jagame töösoorituse visuaalseks (sensoorne ehk infot hankiv), kognitiivseks (infot töötlev ja otsuseid langetav) ja motoorseks (täidesaatev) komponendiks. Kui stereotüüpses käsitluses mõjutab tootmistöölise tootlikkust eelkõige visuaal-motoorika, siis ametniku töös on kõige olulisem kognitiivne komponent. Soorituse visuaalse komponendi sees on nägemisvõime (nägemisülesande sooritamise kiirus ja täpsus) mõju oluliselt väiksem kui nägemismugavuse puudumise negatiivne mõju, viimane võib väljenduda näiteks keskendumisraskusena.

Igal tööülesandel on erinev visuaalse, kognitiivse ja motoorse komponendi osatähtsus tõoviljakusele. Lisaks on erinev ka visuaalse komponendi elementide tähtsus, seetõttu ei ole võimalik leida ja kirjeldada ühte ning kõigile sobivat valgustuslahendust. Küll on aga oluline mõista valgustuse otseseid ja kaudseid mõjusid, ning tunda valgustatusega seotud mõisteid.

1.2. Valgustatuse mõisted

1.2.1. Valgustustihedus

Valgustustihedus (*Illuminance*) on pinnaelemendile langeva valgusvoo ja selle elemendi pindala jagatis - lm/m^2 (Tamm, 2009). Valgustustiheduse ühikuks on luks (lx). Mitmeid aastaid on laialdaselt kasutatud kontorihoonete hea valgustustiheduse kriteeriumiks olnud keskmine valgustustihedus horisontaalsel töötasapinnalt (Boyce, 2014).

Töökoha valgustuse osas juhendatakse standardist EVS-EN 12464-1 «Valgus ja valgustus. Töökohavalgustus» 1. osast «Sisetöökohad», kus eeldatakse, et siseruumide valgustuse nõuded on täidetud. Töökoha valgustatust tuleb vastavalt töötaja eale või tervises seisundile suurendada. Valgusallika vananemisel väheneb tekkiva valgustuse hulk, mida võib põhjustada valgusallika kulumine või määrdumine ning peegeldusvastaste seadmete kasutamine (Saks et al, 2010). Sõltumata valgustuspaigaldise seisundist ja vanusest ei tohi valgustustihedus langeda alla standardis toodud piirnormi. Valgustustiheduse piirnormid EVS-EN 12464-1 standardi järgi kehtivad normaalse nägemisvõimega inimeste puhul ja tavapäraste nägemisolude korral, mis mõjutavad tööviljakust ja arvestavad: nägemisülesannetega seotud nõudeid, psühholoogilisi aspekte, nägemisergonoomikat, talitluslikke ohutusnõudeid, praktilist kogemust ning majanduslikkust.

Phipps-Nelsoni uuringust (2003) selgus, kõrgel valgustustihedusel (1000 lx) on oluline mõju unisusele, sooritusele ning aeglasele silmade liigutamisele, kuid melatoniini tasemele see mõju ei avalda. Uuritavad olid tähelepanelikumad ning neil esines vähem unisust.

1.2.2. Värvustemperatuur

Valgusallikate värvi hinnatakse värvustemperatuuri (*Correlated Colour Temperature*) kaudu, võrreldes seda mustkiirguri värviga mingil temperatuuril. Mustkiirgur ehk Plancki kiirgur on termiline kiirgur, millel on antud temperatuuril suurim võimalik kiirgavuse spektraaltihedus ning mille kiirgus vastab Plancki kiirgusseadusele (Tamm, 2009). Värvustemperatuuri tähistatakse T_{cp} , kuid võib tähistada ka CCT. Tehisvalgusti värvustemperatuuri rühmitus valguse värvi järgi on esitatud tabelis 1.

Tabel 1. Lampide rühmitus valguse värvi järgi (EVS-EN 2464-1:2011)

Värvitoon	Lähim värvustemperatuur T_{CP} K
Soe (soevalge)	alla 3300
Vahepealne (neutraalvalge)	3300 kuni 5300
Külm (päevavalgusvalge)	üle 5300

Värvustemperatuuri uuringud on näidanud, et erinevatel värvustemperatuuridel on erinev positiivne mõju tunnetele (Denk et al, 2014). Valgusvärvus mõjutab ka oluliselt inimese käitumismustreid. Valgena näiv valgus mõjub inimesele ergutavana, mille tõttu aktiveeruvad liigutused, mõtted ja muu. Kollane ehk soe valgus tekitab inimesele mugavustunde ning aitab organismis melatoniinil tekkida, mis valmistab organismi ette uneperioodiks (Tamm, 2016). Kort & Smolders (2010) uuringust selgus, et kõrge värvustemperatuur (5600K) on ergutavam kui madalam värvustemperatuur (3000K), kuid uuringus osalejad eelistasid madala värvustemperatuuriga valgusteid, mis olid nende hinnangul meeldivamad.

Värvsustemperatuuri mõju uurimiseks on mõõdetud vastsetl täiskasvanuikka jõudnute nägemisteravust sama valgustustiheduse, kuid kahe erineva värvsustemperatuuri korral. Kõrge värvsustemperatuuriga valgustite korral oli noorte nägemisteravus parem kui madalama värvsustemperatuuri korral (Boyce, 2014). Madalama värvsustemperatuuri korral käitusid aga vaatlusalused konfliktolukordades adekvaatsemalt kui kõrgema värvsustemperatuuri korral. Samas kontoritöökohtadel pole soovitatav kasutada kõrge värvsustemperatuuriga (5500K - 6000K) valgusteid, kuna see tundub töötaja jaoks külm, elutu ja tekitab keskkonnast ebameeldiva tunde (Denk et al, 2014).

1.2.3. Värviesituse üldindeks

Värviesituse üldindeksit (*Colour Rendering Indice*) tähistatakse R_a (inglise keeles CRI). Värviesituse R_a indeks näitab, kui palju valgusallika poolt valgustatud objektide värvid erinevad etalonvalgusallika poolt tekitatud värvidest (Tamm, 2009). Lähtuvalt standardist EVS-EN 2464-1:2011 tuleb nägemisvõime, heaolutunde ja mugavuse seisukohast esitada esemete ja pindade värve, sh inimese nahavärvust võimalikult loomutruult. Värviesituse üldindeksi suurimaks võimalikuks väärtuseks on 100. Seega, $R_a=100$ tähendab, et kõiki värve tajutakse ühtviisi hästi. Värvieristuse üldindeks on madalam, kui kasutatava valgusallika kiirgusspekter on erinev loomuliku valguse spektrist. Valgusteid, mille värviesitusindeks on alla 80, ei tohiks kasutada ruumides, kus inimesed igapäevaselt töötavad või viibivad (Saks et al, 2010).

1.2.4. Diskomforträägus

Räägus on haisting, mida põhjustavad liigheledad alad, nagu valgustite osad, valgustite pinnad, aknad kui ka katuse valgusavad. Räägus peab olema piiratud, vältimaks väsimust, vigu ja tööõnnetusi. Räägus võib avalduda kahel viisil: diskomfort- või pimestusräägusena (EVS-EN 12464-1:2011).

Diskomforträägus on peamine probleem tehis- ja päevavalguse kujundamise korral (Clear, 2012). Räägust iseloomustatakse ühtse räägusteguriga UGR (*Unified Glare Rating*) (Saks et al, 2010). Räägustegur mõiste arendati välja kogumaks andmeid tehisvalgustuse kohta, kuid seda pole soovitatav kasutada loomulikust valgusest tuleva rääguse leidmiseks (Fisekis et al, 2003). Selleks, et diskomforträägust välja arvutada, tuleb kõigepealt mõõta sisevalgustuspaigaldistest inimese silma jõudvat heledust. Valgustugevuse näivat tihedust peegelduvalt või valgusandvalt pinnalt iseloomustab heledus, mille ühikuks on kandela ruutmeetri kohta (cd/m^2). Pinna heledus oleneb pinna peegeldumisvõimest ja sõltub vaatenurgast (Tamm, 2009). Töökoha karakteristikutest lähtuvalt järeldati, et diskomforträägust põhjustavad pigem väikesemad valgusallikad. Lisaks võis uuringust järeldada, et diskomfort-rääguse esinemise määr on sõltuvuses valgustist tuleneva heleduse intensiivsusega, kui valgusallika diameeter on väiksem kui 80 mm (Paul & Einhorn, 2000). Varasema laboratoorse eksperimendi käigus on tõestatud, et töötajad märkavad ja annavad teada diskomforträäguse esinemisest (Kent et al, 2015). Pimestusräägus võib põhjustada väsimust, vigu tehnoloogilises protsessis ning tööõnnetusi (Saks et al, 2010).

Töökeskkondades võib esineda veel loorpeegeldust või peegeldusräägust, mis on tingitud läikivate pindade peegeldustest. Vaadeldaval esemel tekivad suundpeegeldused, mis vähendavad kontrasti nägemisülesande täitmise alas ning selle tagajärjel looritavad (peegeldavad) eseme elemente osaliselt või täielikult.

1.2.5. Värelus

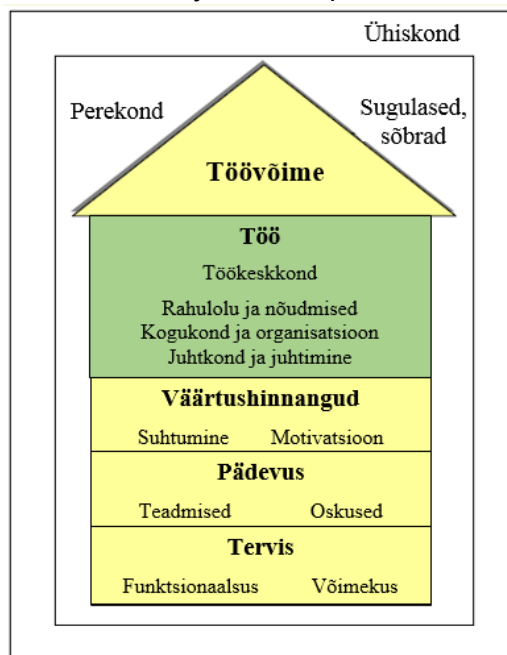
Valguse värelus on nägemisaistingu ebapüsivuse mulje, mis võib põhjustada ärritust ning võib olla haiguslike füsioloogiliste nähtuste põhjustajaks. Värelus segab keskendumist.

1.3. Töövõime

Töövõime on suutlikkus teha tööd. Süsteemi või elemendi seisundit, mille korral on see võimeline täitma kindlaid ülesandeid, nimetatakse töövõimeks. Silma võrkkesta neuroelektrilisest võimekusest sõltub visuaalse ülesande soorituse tulemus.

Töötajate töövõime muutub pidevalt, sõltudes psühholoogiliste ja füsioloogiliste funktsioonide muutustest organismis (Reppo, 1997). Kõikide inimeste heaolu ja tervis põhinevad töövõimel (Gould et al, 2008). Töövõimet mõjutavad mitmesugused tegurid nagu töö liik ja tingimused, töökorraldus, psühhosotsiaalsed tegurid ning isikuomadused (Berg et al, 2009).

Töötajate töövõimet on võimalik säilitada töötervisehoiu ning meditsiiniliste abinõudega (Reppo, 1997). Paindlikud töötingimused annavad töötajale võimaluse taastada tervis ja heaolu (Joyce et al, 2010). Töövõimet mõjutavad aspektid on toodud joonisel 4.



Joonis 4. Töövõimet mõjutavad aspektid (Kaida et al, 2007).

Kontroll oma tööaja üle on võimlaus säilitada oma tervis, heaolu, töövõime ja tööülesannete sooritusvõime (Nijp et al, 2012).

Töövõime indeks. Vananevas elanikkonnas on oluline säilitada terved ja produktiivsed töötajad. Töövõime indeks (WAI) on arendatud 1998. aastal Soome Töötervishoiu Instituudi (FIOH) töögrupi liikmete poolt ja see põhineb kutsehaiguste ravi uuringutel. WAI indeksit saab kasutada ühe meetodina hindamaks töövõimet tervisekontrollis. Küsimustik aitab varajases staadiumis välja selgitada töötajad ja töökeskkonnad, kus oleks vaja lisameetmeid rakendada (Tuomi et al, 1994).

2. VALGUSTATUSE MÕJU TÖÖVILJAKUSELE JA JÕUDLUSELE

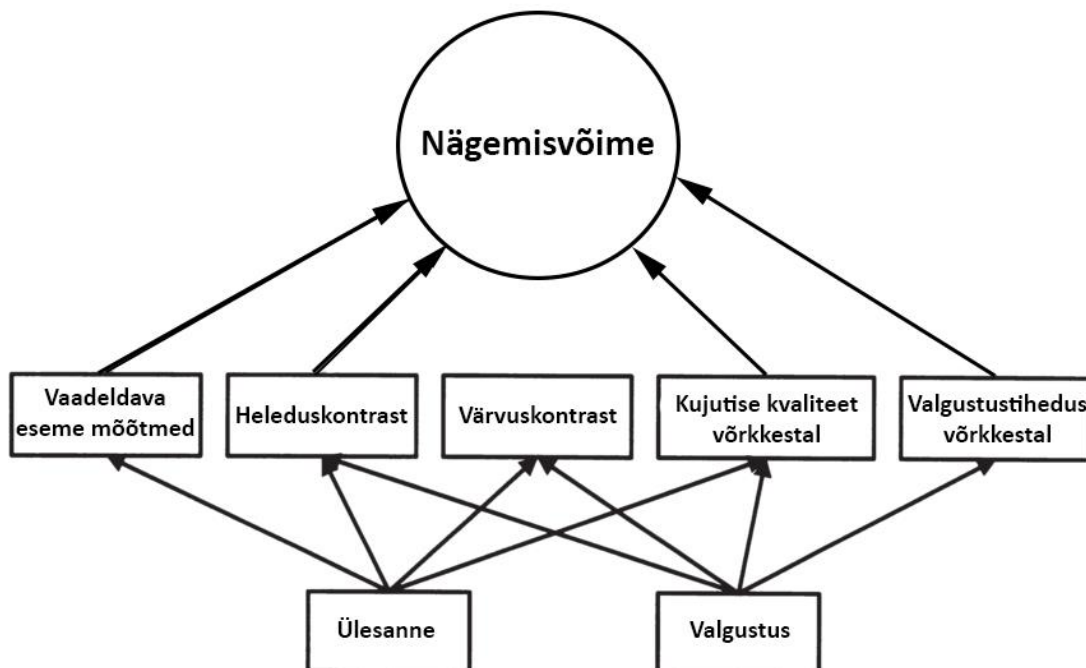
2.1. Valgustustingimuste otsene mõju

2.1.1. Nägemisvõime

Valgus on tähtsaim füüsikaline parameeter töökeskkonnas, sest see otseselt mõjutab otseselt inimese nägemisvõimet (Boyce, 2011). Nägemise kaudu saab inimene ca 90% informatsioonist välismaailmast, mida ta kasutab oma töös. Valguse ja värvi nägemine toimub elektromagnetkiirguse väikseimate osakeste ehk valguskvantide (fotonite) energia mõjul silma võrkkestal olevatele valgustundlikele elementidele. Valguskvantide energia (valgusimpulsi) mõjul käivitub silma võrkkestal paiknevates fotoretseptorites biokeemiline protsess, mille väljundiks on elektriline signaal. Protsessi, mille käigus valgus muundub elektriliseks signaaliks, nimetatakse fototransduktsiooniks.

Valgusallikaks nimetatakse elementi või seadet, mis kiirgab inimsilmale nähtavas spektris (380-780 nm) valguskvantide energiat. Meie Päikesesüsteemis on Päike loomulik elektromagnetkiirguse allikas ehk valgusallikas, mis on inimesele kõige vastuvõetavam, sest see stimuleerib inimorganismi elutegevust (Merisalu, 2016). Loomuliku päevavalguse puuduseks on selle sõltuvus ilmastikuoludest, mille tõttu töökohtade valgustamiseks tuleb eelistada loomuliku päevavalgust kombinatsioonis tehisvalgustusega.

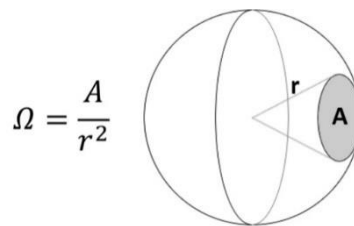
Nägemisvõime on nägemiselundi töövõime, mida on võimalik mõõta näiteks nägemisülesande sooritamise kiiruse ja täpsusega. Nägemisvõime olulisus on ilmselge, sest pilkses pimeduses on praktiliselt võimatu tööd teha. Kindlasti tuleb silmas pidada seda, et nägemisvõime on kõigest jõudluse ja tööviljakuse üks komponent. Teisisõnu, tööviljakus kirjeldab ülesande täitmist terviklikuna, ning jõudlus sisaldab endas kolme komponenti: visuaalset, motoorset ja kognitiivset. Sõltuvalt ülesandest võib nende komponentide osakaal erineda (näiteks advokaadi töös on kognitiivse komponendi osakaal märgatavalt kõrgem, kui liinitööl, kus määravaks on motoorne komponent). Visuaalset komponenti mõjutavad parameetrid ja tingimused on esitatud joonisel 5.



Joonis 5. Stiimuli omaduste ja nägemisvõime seosed (tõlge allikast Boyce, 2003).

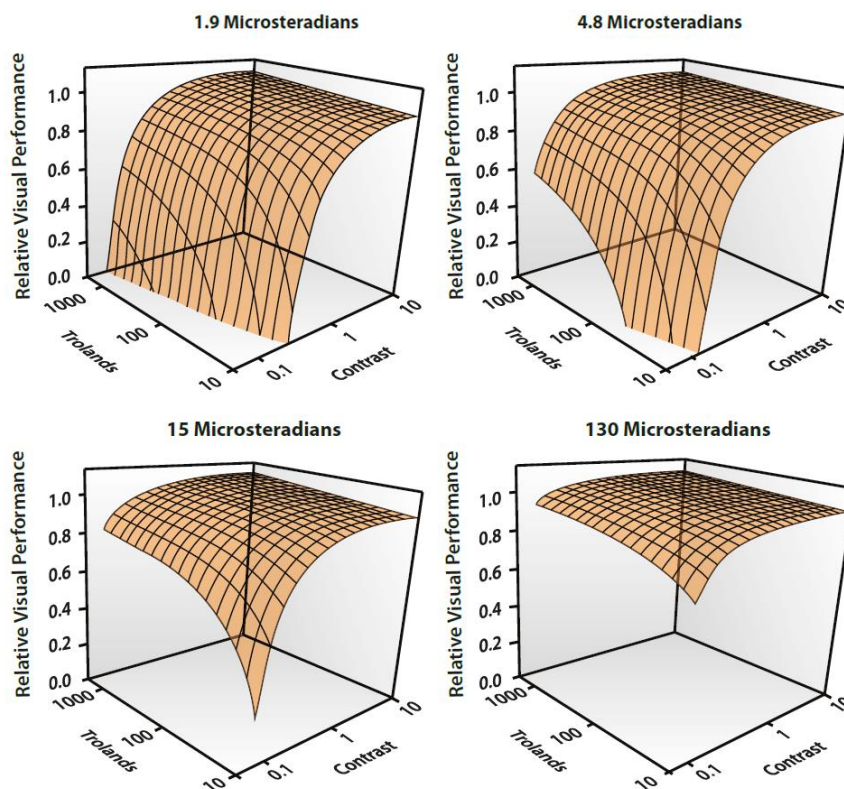
Nägemisvõimet mõjutavad tegurid tulenevad töölemusest, valgustusest või nende kombinatsioonist. Nagu eelnevalt oli mainitud, siis erinevate ülesannete korral on komponentide osakaalud samuti erinevad. Kui tegemist on ülesandega, mille puhul visuaalne komponent on väikse tähtsusega, siis on selge, et valgustingimuste muutmisega ei saavutata olulist tööviljakuse kasvu. Kuid, selliste ülesannete korral, mis nõuavad lugemist, andmete sisestamist või värvi kontrolli, on nägemisvõime valgustustingimustele märgatavalt tundlikum (Boyce et al, 2011).

Vaadeldava objekti mõõtmed. Nägemisvõime sõltub kõige enam sellest, mis suurusega on vaadeldava objekti kriitiline element. Objekti suurst väljendatakse ruuminurga abil steradiaanides (joonis 6). Kriitiliseks elemendiks nimetatakse vaadeldava objekti olulist osa, mis omab ülesande täitmiseks vajalikku informatsiooni.



Joonis 6. Vaadeldavat objekti väljendatakse kriitilise elemendi pindala A (cm^2) ning vaatleja asukoha ja kriitilise elemendi vahekauguse ruudu r^2 (cm) jagatisega

Mida väiksem on vaadeldav objekt, seda tundlikum on nägemisvõime valgustustiheduse ja kontrasti muutustele (joonis 7). Sellest tulenevalt on ka valgustusele esitatavad nõuded otseses sõltuvuses töö täpsusastmega. Lugemiskauguse 35 cm korral on trükikirja kriitilise elemendi ruuminurk: suuruse 14 pt korral 20 μsr , 10 pt korral 10 μsr ja 6 pt korral 3,5 μsr .



Joonis 7. Suhtelise nägemisvõime mudel, nägemisvõime sõltuvus heleduskontrastist, valgustustihedusest võrkkestal ning vaadeldava objekti suurusest (andmed: Rea & Ouellette, 1998; illustratsioon: DiLaura et al, 2011)

Kuid tuleb arvestada sellega, et valgustustiheduse suurendamisega ei ole võimalik lõpmatuseni nägemisvõime parenemist suurendada. Horst et al (1988) järeldas, et katsealuste seas oli märgata nägemisvõime parenemist kuni valgustustiheduseni 200 lx ning vahemikus 200-800 lx olid tulemused muutumatud. Kaye (1988) võrdles töötajate töövijakust valgustustihedusel 500 lx ja 1200 lx ning tulemustest selgus, et tekstis vigade paranduste tegemisel olulist erinevust ei esinenud.

Heledus- ja värvuskontrast. Heleduskontrastiks nimetatakse eseme pindheleduse ja selle tausta suhet. On olemas kahte liiki kontrastiga seotuid probleeme. Esimene tekib siis, kui esineb väga erinevalt valgustatud alasid. Teiseks on värvuskontrast ehk värvide mõju üksteisele. Olukorda, kus pingsal vaatamisel nähakse olemasoleva värvi asemel teist värvi, nimetatakse järelkontrastiks ning kontrastvärvidega sihipärast vaataja tähelepanu suunamist mingile kindlale objektile nimetatakse üheaegseks kontrastiks. Vaataja tähelepanu suunamiseks kindlale tööoperatsioonile peab vahetu nägemisülesanne olema heledam kui ümbritsev piirkond. Vastasel juhul võib inimese tähelepanu olla tööalalt kõrvale juhitud. Ühtlasi raskendab ka liiga vähene kontrast teksti lugemist (joonis 8).

Kontrasti vähenemisel selle lause lugemine raskeneb.

Joonis 8. Mida väiksem on teksti ja tausta kontrastsus, seda rohkem tuleb lugemisel pingutada

Kontrasti leidmiseks kasutatakse heledusmõõturit. Võrreldakse kahe pinna heledusi ja leitakse nende heleduste suhe, väärtus jääb vahemikku 0 kuni 1:

$$C = \frac{L_t - L_o}{L_t},$$

kus L_t on tausta heledus, lm;
 L_o – objekti heledus, lm.

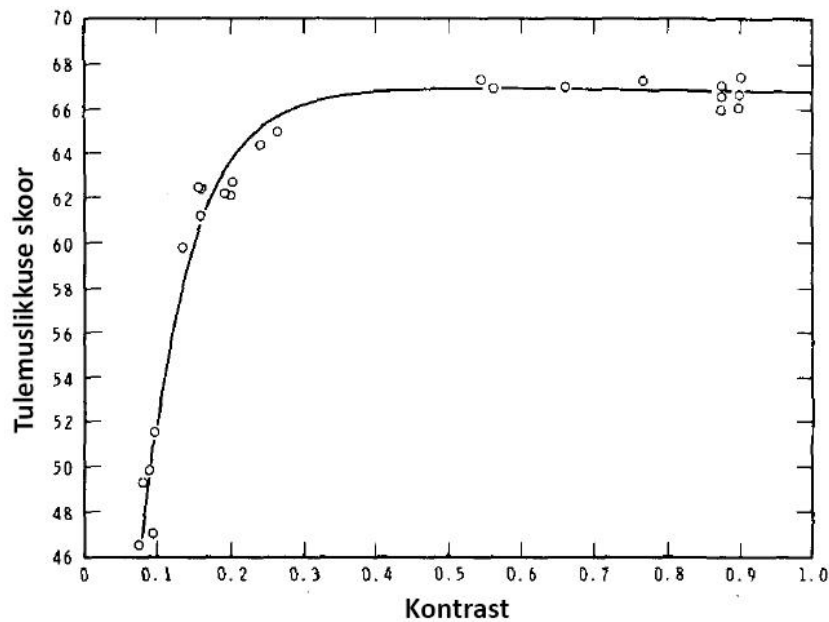
Väga väikesed muudatused teksti ja tausta kontrastsuses võivad muuta loetava teksti mitte loetavaks. Selle tõttu on kontrastil väga suur mõju nägemisvõimele. Rea (1981) on nägemisvõime ja kontrasti sõltuvuse hindamiseks kasutanud numbrijadade võrdlemise meetodit, mille käigus katseisikute ülesandeks oli võimalikult kiiresti ja täpselt leida ja märkida kahes arvudega tulbas lahknevusi. Sisult on see ülesanne väga sarnane ametniku tööülesandega, kus tuleb võrrelda või kontrollida lepingu numbreid ja isikukoodi. Arvudega tulbad tuli ühe korraga üle vaadata ja leitud erinevused üles märkida. Jõudnu tulpade lõppu andis vaatlusalune märku ning katse sooritamisele kulunud aeg ja vigade arv fikseeriti. Katseid sooritati sama valgustustingimuste korral tehes algselt ülesandelehed maksimaalse kontrastiga (nt 100% musta värvi tekst ja valge paber) ning järgnevad katsed väiksema kontrastiga. Tulemuslikkuse skoor arvutati järgmise valemiga:

$$Skoor = \frac{(T-E) \cdot 100}{(S+5)},$$

kus T – arvude hulk tulbas arv (katses valiti alati 20 arvu igas tulbas);
 E – vigade arv katse kohta;
 S – katse sooritamisele kulunud aeg s.

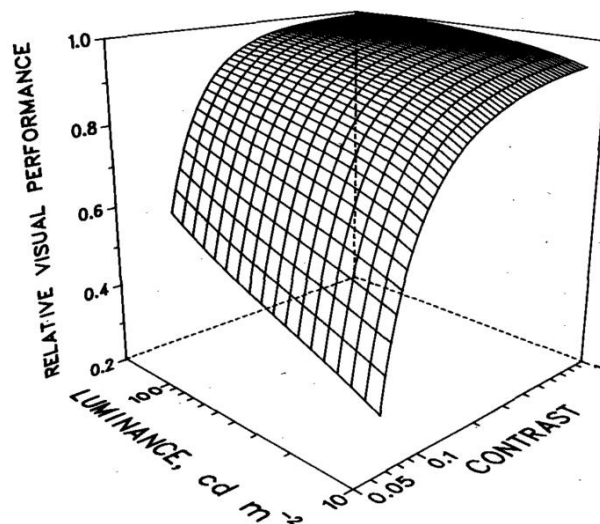
Jooniselt 9 on näha, et heleduskontrastil on tõesti suur mõju nägemisvõimele, kuid seda vahemikus 0,1-0,3. Alates kontrastist 0,4 jõuab tulemuslikkuse skoor küllastuspunkti, kust

kõrgemale ta enam ei jõua sõltumata sellest, kui palju kontrastsust või valgustustihedust suurendatakse.



Joonis 9. Tulemuslikkuse skoori sõltuvus kontrastist (Rea, 1981).

Kui joonisel 7 esitatud suhteline nägemisvõime mudel põhines reageerimisajal, siis joonisel 10 esitatud mudeli variant põhineb numbrijadade võrdlemisel. Antud juhul keskendub see sama suurusega stiimulite võrdlemisele erinevates valgustuse tingimustes.



Joonis 10. Suhtelise nägemisvõime mudel, nägemisvõime sõltuvus heledusest ja kontrastist (Rea, 1986).

Numbrijadade võrdlemise meetodiga saab hinnata inimese nägemisvõime sõltuvust erinevatest tingimustest ja parameetritest. Sõltumatuteks muutujateks standardse ülesande korral võivad olla valgustustihedus, valguse ühtlus, kontrastsus, valguse värvus, segavalgustus või valgustite liik. Tulemusest peab selguma, kas valitud sõltumatu muutuja mõjutab katse sooritamise aega ja täpsust või mitte.

Valgustustihedus silma võrkkestal. Valgustustiheduseks võrkkestal nimetatakse heledust, mida reguleerib pupilli suurus ja mis läbib sarvkesta, läätsse ning klaaskeha, langeb silma

võrkkestale. Tingühikuks on Troland (tähistatakse Td), nimetatud Leonard T. Trolandi järgi ning seda arvutatakse järgmise valemiga:

$$e_t = L \cdot A_p$$

kus L – on vaadeldava objekti heledus, cd/m^2 ;
 A_p – pupilli pindala, mm^2 .

Valemist on näha, et valgustihedus võrkkestal ei sõltu vaatleja ja vaadeldava objekti vahekaugusest ja sõltub ainult objekti heledusest ning pupilli ehk silmaava pindalast.

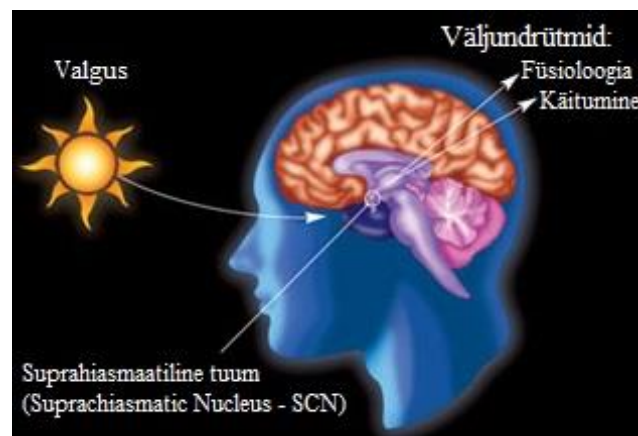
2.1.2. Nägemismugavus

Nägemisvõime ja nägemismugavus ei ole sünonüümid ja käituvad erinevalt. Nägemisvõime näitab, mida on nägemisülesande kontekstis võimalik saavutada. Nägemismugavus aga näitab kui lihtne on seda teha. Nägemismugavus seisneb töötajate subjektiivses heaolutundes ning läbi soodsa nägemiskeskonna aitab ka kõrgele tööviljakusele ja kvaliteedile. Boyce P. R. (2003) toodud mudelist selgub, et nägemismugavust mõjutavad rütm ja valgusallika värelus.

2.2. Valgustustingimuste kaudne mõju

2.2.1. Tsirkaadrütmi olemus ja mõju

Tsirkaadrütm on elusorganismis 24-tunnise valguse- ja pimedustsükli jooksul toimuvad kehas füsioloogilised muutused, mis mõjutavad inimese vaimset ja füüsilist töövõimet ning käitumist. Tsirkaadrütmi teadusuuringuid kutsutakse kronobioloogiaks. Tsirkaadrütmi juhib inimese bioloogiline kell, mis koosneb paljudest rakumolekulidest üle kogu keha, sünkroniseerides kogu keha organsüsteemide, organite, kudede ja rakkude tööd. Bioloogilise kella „juhtpult“ koosneb tuumade (20 000) kogumikust, mis asub aju ees-hüpotalamuse piirkonnas, nägemisnärvide ristumiskohal (*chiasma opticus*) ja seda tähtsat keskust kutsutakse suprahiasmaatiliseks tuumaks (*suprachiasmatic nucleus* - SCN) (joonis 11).



Joonis 11. Inimese tsirkaadrütmi juhtivad keskused ajus (NIGMS, 2012).

SCN saadab impulsse silma võrkkesta retinaal-hüpotalaamilise närvipõimiku kaudu erinevatele organitele (süda, maks, neerud). SCN mõjutab kehatemperatuuri, neurohormonaalseid muutusi, organismi ainevahetust ja rakkude paljunemist.

Tsirkaadrütmi eest vastutavad inimorganismis teatud geenid, mida mõjutavad paljud kehasisesed ja -välised signaalid. Tsirkaadrütm on eelkõige mõjutatud väliskeskkonnast tulenevatest valgussignaalidest, lülitades organismi sisekella reguleerivaid geene sisse või

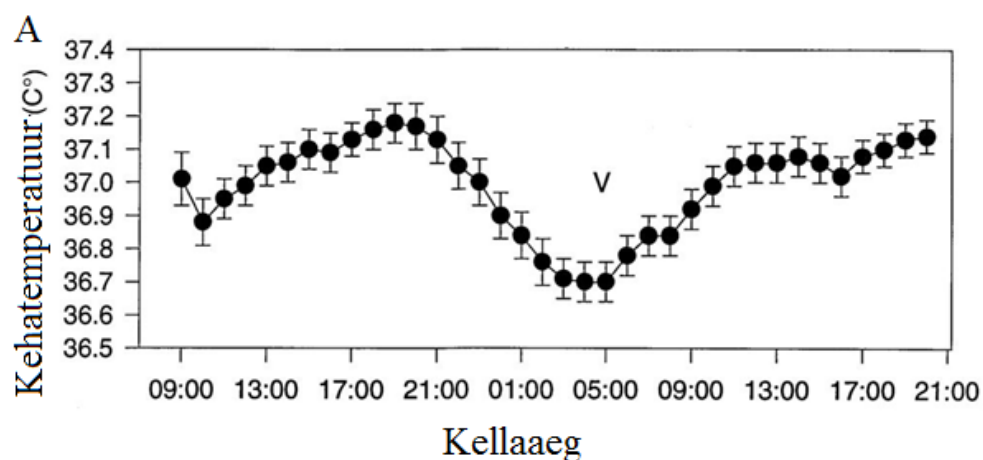
välja (NIGMS, 2012). Tsirkaadrütm eest vastutavad geenid mõjutavad samuti hormoonide sekretsiooni ja seeläbi keha ainevahetuslike protsesse ning paljusid elutähtsaid funktsioone.

Tsirkaadrütm mõjutab inimese une ja ärkveloleku tsüklit, kehatemperatuuri ja toitumisharjumusi. Tsirkaadrütm häired on seotud mitmete haigustega nagu diabeet, rasvumine, depressioon, bipolaarsed häired ja sessoonsed haigused. Tsirkaadrütm häired on seotud unehäiretega (insomnia). Keha juhtkell SCN kontrollib ajus melatoniini sünteesi, mida nimetatakse unehormooniks. Kuna SCN asub aju hüpotalamuse eesosas nägemisnärv ristumiskohal, siis ta vahendab silma võrkkestale siseneva valgussignaali infot aju erinevatele osadele. Kui on öö, siis SCN annab impulsse käbinäärmele (epifüüsile), et see toodaks melatoniini ja see teeb inimese uniseks (Fonken & Nelson 2014; Bonmati-Carrion et al, 2014).

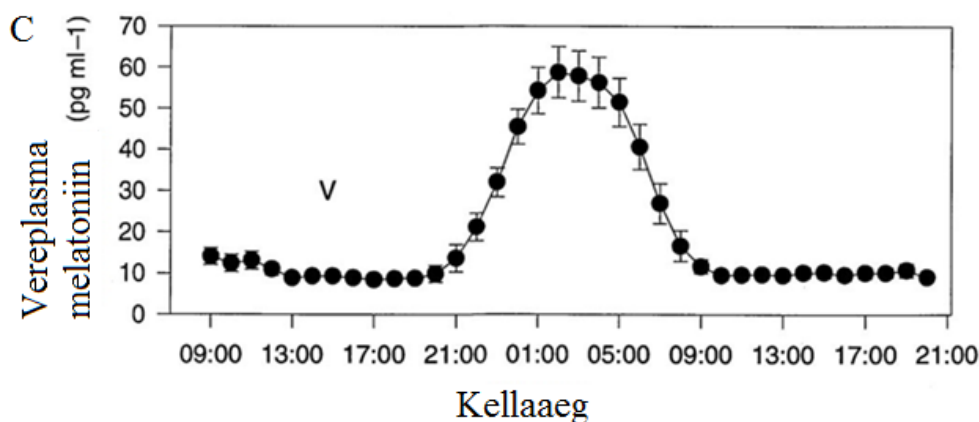
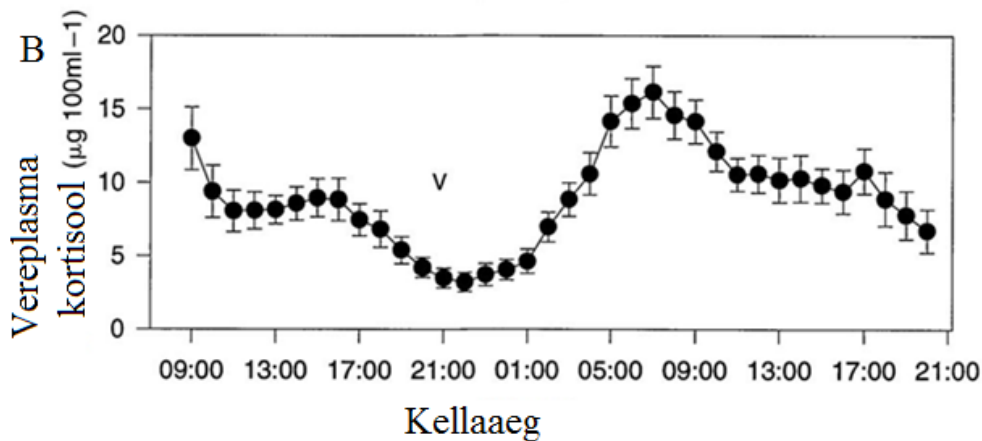
Käbinääre toodab ajus ka dimetüülrüptamiini (DMT), mis mõjutab organismi ööpäevaseid rütme ja närvisüsteemi funktsioneerimist. Melatoniin on annab nahale värvuse ja kontrollib inimese biorütmi nagu une- ja ärkveloleku aega. Melatoniini toodetakse serotoniinist. Serotoniini käbikela ise ei tooda, kuid toimib selle aine reservuaarina ning suunab seda teistesse ajupiirkondadesse. Kui käbikela funktsioon melatoniini sünteesis on allasurutud (nt öötöö korral), võib kujuneda sügav masendus, stress ja depressioon.

Kortisool on stressihormoon, mis paisatakse verre neerupealiste koorest aju hüpofüüsi hormooni adenokortikotropiini (AKTH) toimetel. Erinevad stressorid nagu ere valgus, müra, psüühiline või füüsiline aktiivsus suurendab kortisooli taset veres ja ka vastupidi. Kortisooli kõrgem tase veres loob eelduse ajutegevuse ja liikumisaktiivsusele. Kortisooli oluliseks funktsiooniks on energia tootmine ja mobiliseerimine. Hormoon aitab organismil valida energia tootmiseks kõige otstarbekama tee: toota seda kas süsivesikutest, lipiididest või valkudest. Kortisool reguleerib energia tootmise hulka vastavalt organismi vajadusele ja suunab energeetilise materjali (glükoosi) energianäljas kudedesse (nt füüsilise koormuse korral lihastesse).

Mõlema hormooni (melatoniini ja kortisooli) sekretsiooni mõjutavad tegurid on valgus ja inimese kehaasend. Nende hormoonide mõju mõõtmisel on kaks peamist suunda. Üks tegeleb inimese kognitiivse soorituse hindamisega (nt madal vs kõrge kognitiivne koormus, ülesande kestus, füüsiline vs vaimne töötempo jne). Teine uurimissund uurib indiviiditi erinevusi ülesande täitmisel (Lewy et al, 1999, refereerinud Blatter et al, 2007). Joonisel 12 A on välja toodud kehatemperatuuri dünaamika, joonisel 12 B - vereplasma kortisooli ja joonisel 12 C - melatoniini sünteesi kõverad. Kehatemperatuuri dünaamika liigub vastupidiselt melatoniinile ja kortisooli sünteesi kõver on oma tõusude ja langustega melatoniinist ligikaudu 2 tundi taga (joonis 12 A, B, C).



Joonis 12. A. Inimese füsioloogilised biorütmid: kehatemperatuuri dünaamika (keskmine \pm SD) (n=17) (Monk et al., 1997).



Joonis 12 B, C. Inimese füsioloogilised biorütmid: vereplasma kortisooli ja melatoniini sünteesi kõver. Joondiagrammil on kujutatud keskmine (\pm SD) ($n=17$). Ühikud: kortisool ($\mu\text{g } 100 \text{ ml}^{-1}$) ja melatoniin (pg ml^{-1}). Uuritava grupi keskmiste miinimum joonisel 12 on märgitud tähisega „V“ (Monk et al., 1997).

Joonisel 12 A on näha, et kehatemperatuuri puhul on kõige madalam punkt varahommikul kell 05:00 ja kõige kõrgem punkt kell 19:00. Kortisooli puhul (joonis 12 B) on kõige madalam punkt kell 21:00 ja kõige kõrgem kell 07:00. Jooniselt selgub ka see, et kortisooli tase on kella 09:00st kuni 16:00ni enam-vähem stabiilne. Melatoniini tase vereplasmas on päeval ajal stabiilselt madal, kuid näitab tõusutrendi öhtust varahommikuni (kl 21st kuni 4ni). Seejärel melatoniini sisaldus vereplasmas järsult langeb (kuni kl 9ni), saavutades madalpunkti pärastlõunal kl 14-15 paiku ja see püsib madalseisus kuni öhtuni (Joonis 12 C).

Kuna enamikel inimestel on tsirkaadtsükkel pikem kui 24 tundi, siis tagab valgus tsirkaadrütmi sünkroonsuse loodusliku öö ja päeva vaheldumisega (Czeisler et al, 1999). Valgus reguleerib bioloogilist kella, mis kontrollib tsirkaadrütmi ja seeläbi mõjutab töö tulemuslikkust teatud kellaaegadel (Juslen & Tenner, 2005). Ööpäevase foto-bioloogia mõiste on sama mis bioloogiline kell, mis üle SCN ajus reguleerib öise une ja ärkveloleku aktiivsust perioodilisusega umbes 24,5 tundi (Schulkin, 1993).

Eredat valgust peetakse kõige olulisemaks organismi bioloogilise kella mõjuriks (Klerman et al, 2002). Kuid ere valgus võib esile kutsuda kõrvaltoimeid nagu silmade ülekoormus ja peavalud, samuti maania ehk meeleoluhäiret neil, kellel on selleks soodumus (Terman & Terman, 2005). Seega on olemas vajadus leida medimedikamentoosseid või alternatiivseid viise tsirkaadrütmi nihutamiseks (Youngstedt et al, 2016).

Uuringud on näidanud märgatavaid inimeste subjektiivseid füsioloogilisi erinevusi järgmistes tsirkaadrütmis ja unega seotud aspektides:

- tsirkaadperioodi kestuses (23,9-24,5 h) (Czeisler et al, 1999);
- tsirkaadfaasides (hommiku- ja õhtuinimesed ehk kronotüübid nagu „lõokesed“ ja „öökullid“) (Roenneberg et al, 2004; Taillard et al, 1999);
- une kestuses (Aeschbach et al, 1996);
- unepuuduse mõjus (mis ei sõltu unevajadusest) (Van Dongen et al, 2003);
- vanusest (Cajochen et al, 2006);
- isiksuse omadustest (introvertsus ja ekstrovertsus) (Colquhoun, 1984).

Une- ja ärkveloleku ning tsirkaadrütmis kokkulangemine on oluline kognitiivse suutlikkuse parendamiseks (Wright et al, 2006). Mitmed uuringud on toonud välja valguse kasulikke mõjusid, mis näitab positiivset mõju erksusele (Küller & Wetterberg, 1993), elujõule ja depressiooni sümptomite vähenemisele (Partonen & Lönnqvist, 2000), samuti psühhomotoorsele valvsusele ja ülesannete täitmise tõhususele (Phipps-Nelson et al, 2003), unekvaliteedile (Boulos et al, 1995; Campbell et al, 1995) ning hommikuse kortisooli sekretsiooni tasemele (Scheer & Buijs, 1999).

Üks esimesi tsirkaadrütmis uuringuid näitas, et ere valgus võib leevendada talvedepressiooni (Lewy et al, 1982). Lisaks ereda valgusega kokkupuude talvel näib olevat tõhus, et leevendada stressi ja parendada terviseprobleemidega seotud elukvaliteeti (Park, 1999). Samuti võrreldi akendega ja akendeta ruumis töötavate kontoritöötajate kehalist aktiivsust ja uneaega ning leiti, et kõrgem loomuliku valguse ekspositsioon suurendas aktiivsust ja pikendas oluliselt uneaega ($p < 0,05$) (Boubekri et al, 2014).

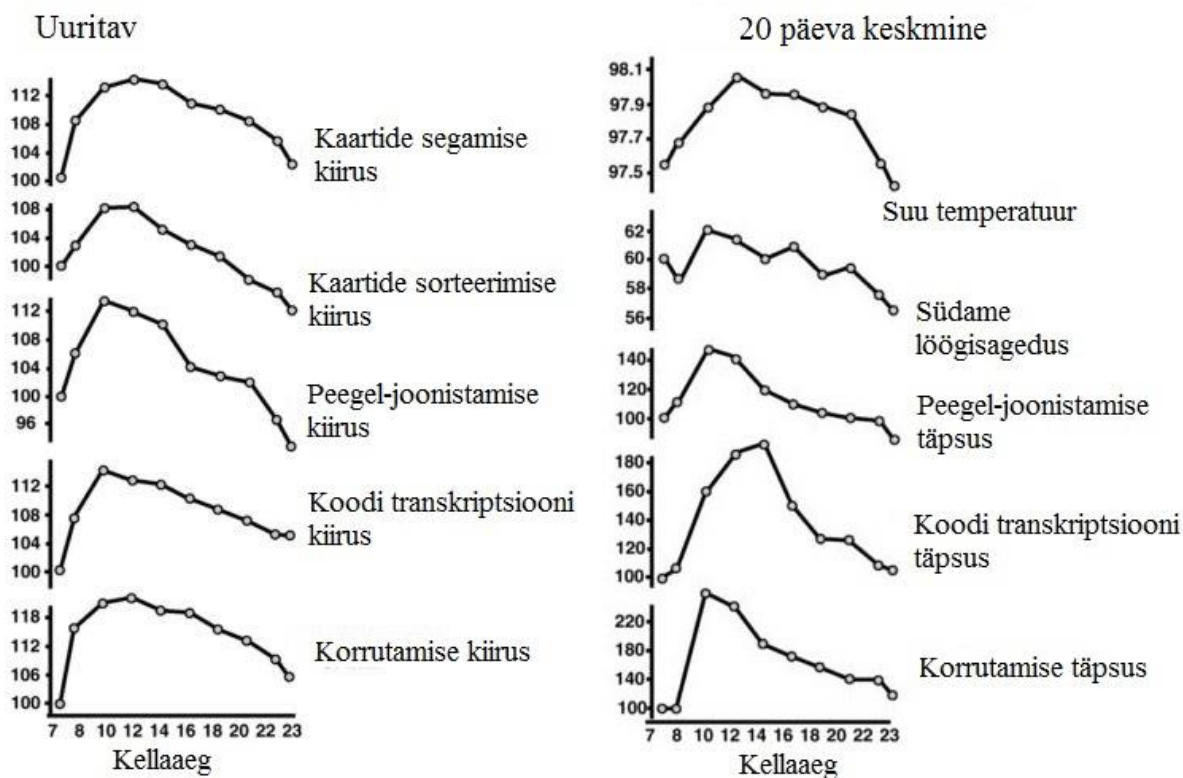
Seoses kognitiivse funktsiooniga, avalduvad muutused üldiselt vanuses umbes 60 aastat ning seda iseloomustab järkjärguline kognitiivne aeglustumine ja mälukaotus, mis on seotud struktuuriliste ja funktsionaalsete muutustega prefrontaalses ajukoos ja oimusagaras (Harrison et al, 2000; Hedden & Gabrieli, 2004).

Enamik (75%) vanemaid inimesi on hommiku-tüüpi, noortes on hommiku-tüüpi alla 10% inimestest. Sellisest jaotusest järeldub, et nooremate ja vanemate inimeste kognitiivsete võimete haripunktid on erineval ajal, päeva jooksul nooremate inimeste kognitiivsed võimed parenevad ja vanematel inimestel halvenevad (Yoon et al, 1999).

Uuringud kognitiivse funktsiooni tsirkadiaanostsillaatori moduleerimisest on näidanud, et noortel jõudlust päeva jooksul paraneb, vanematel isikutel aga halveneb (Yoon et al, 1999). Optimaalse jõudluse saavutamiseks testitakse seda indiviidi vastavatel kronotüübi aegadel (Hasher et al, 1999).

Kognitiivne sooritus muutub ööpäeva kestel. Reageerimisaja ja ülesande täpsuse sooritus on parim enne- ja pärastlõunal ning halvim varahommikul ja hilja õhtul (Kleitman, 1933, refereerinud Blatter et al, 2007). Kuna tsirkaadrütm on seotud kehatemperatuuriga, siis ülesande sooritus kehatemperatuuri suurenemisel paraneb - reageerimisaeg kiireneb. Ka välistemperatuuri mõjutused võivad muuta kehatemperatuuri ja seega ka soorituse tulemust. Joonisel 13 on toodud tööülesannete täitmise kiirus ja täpsus ööpäevases tsüklis (Kleitman et al., 1938, refereerinud Blatter et al, 2007).

Jooniselt 13 on näha, et paralleelsus kehatemperatuuri ööpäevase rütmi ja toimivuse ajalise mõju vahel võib peegeldada põhjuslikku seost. Lisaks reaktsiooniaegadele uuris ta ka keerulisemaid toimimismeetodeid nagu kaartide sorteerimise, peegeljoonistamise, koodi transkriptsiooni ja korrutamiskiirust, mis kõik näitasid püsivat ajalist seost kehatemperatuuri ja südame löögisageduse ööpäevase rütmiga.



Joonis 13. Tööülesannete täitmise kiirus (aeg) ja täpsus ööpäevases tsüklis, kus täitmise aeg näitab kiirust ja vigade arv täpsust ning esimene katseseeria tulemuseks loeti 100 ja see viidi läbi hommikul kl 7. Vasakul on toodud ühe subjekti 10 katset päevas ja paremal 20 päevase tsükli keskmised (Kleitman, 1933, refereerinud Blatter et al, 2007).

Üks levinum neuropsühholoogiline test tähelepanu uurimiseks on Stroopi (värvus-sõna) test (Stroop, 1935). Mõned tulemused (McCarthy & Waters, 1997; Lingenfelter et al, 1994) näitavad magamatuse ja kellaaja mõju testi tulemusele, kuid teised (Binks et al, 1999; Sagaspe et al, 2006) mitte.

2.2.2. Tsirkaadrütmi faasinihe

Silma fotoretseptoritest, mille suurim tundlikkus on umbes 460 nm, on leitud, et need saavad reguleerida tsirkaadrütmi funktsiooni, mis oli seotud melatoniini sünteesi pidurdamise ja faasinihke tekitamisega (Czeisler et al, 1995).

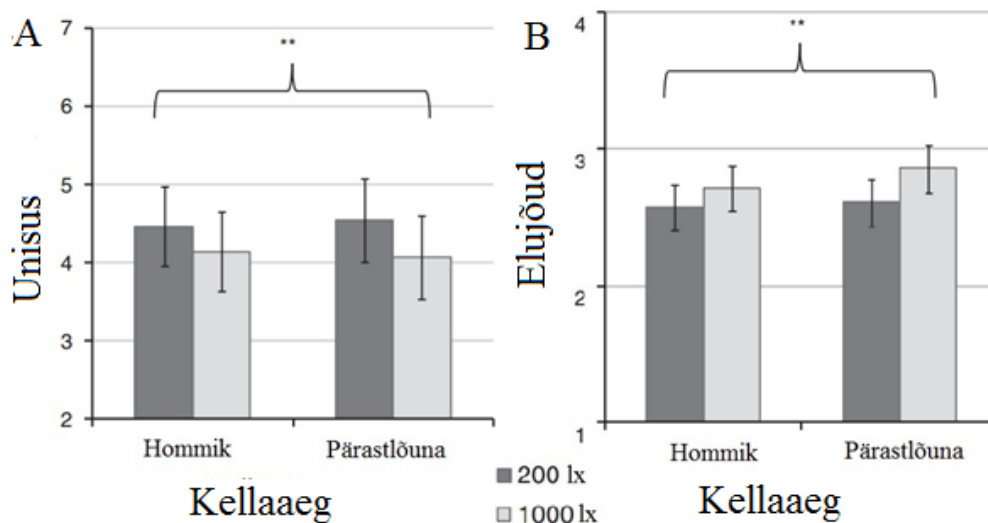
Tsirkaadsüsteem on kõige tundlikum sinisele valgusele (lainepikkus ca 460 nm). Seetõttu on tsirkaadrütmi mõjutamiseks sinise valguse korral vaja palju vähem energiat kui valgusega skotoopilise või fotoopilise spektri alas (Berson et al, 2002; Brainard & Hanifin, 2005; Lockley et al, 2003). Inimese erksus on oluliselt kõrgem kui kollane valgus vahetada sinise vastu (Lehr et al, 2007). Uuringud näitavad, et kokkupuude lühikese lainepikkusega (sinine valgus) valgusega on seotud madalama unisusega ja võimega säilitada tähelepanu (Lockley et al, 2006).

Kõige ilmsem erinevus tehisvalguse ja loomuliku päevavalguse puhul on see, et päevavalgus on tavaliselt palju intensiivsem. Tööpinna valgustustihedus kontoris, koolis, hooldekodus või tehases on harva üle 1000 lx (umbes 200 lx sarvkestale).

Sõltuvalt ilmastikust ja ilmakaarest on hoone interjööris asuva aknaga on võimalik tööpinnale anda valgustatust rohkem kui 2000 luksit. Tööstushoonetes peaks optimeerima valguse kogust, spektrit, ruumilist jaotust, ajastust ja kestust, et toetada ööpäevase süsteemi toimimist, samuti ka visuaalse süsteemi funktsioone täites tööülesandeid. Normaalsetes tingimustes on valgus peamine stiimul bioloogilise kella lähtestamiseks. Igal hommikul une-ärkveloleku tsükkel lähtestatakse valgusega, et olla kooskõlastatult ööpäevase tsükliga. Hooajalised muutused ööpäevase tsükliga, reisimine ja öösel vahetustega töö mõjutab bioloogilise kella ajastust, sest valguse signaal on asünkroonne bioloogilise kella ajastus (Rea et al, 2002).

Mitmeid uuringuid on leidnud valgustuse värvsüsteemtemperatuuri mõju seoses vaimse tegevuse, kesknärvisüsteemi ja erksusega. Uuringud on näidanud, et kõrgemad värvsüsteemtemperatuurid (7500 K versus 3000 K) on rohkem aktiveerivad vaimse tegevuse taseme vaatepunktist (Deguchi & Sato, 1992). Parasümpaatiline ja sümpaatiline närvisüsteem on mõjutatud värvsüsteemtemperatuuri tingimustest. Sümpaatiline närvisüsteem funktsioneerib tõhusamalt kõrgema värvsüsteemtemperatuuri tingimustes (Mukae & Sato, 1992). Kui võrrelda värvsüsteemtemperatuure 3000 K ja 5000 K, siis madalama värvsüsteemtemperatuuriga valgustuse korral on uuritavatel ülekaalus parasümpaatiline vastusreaktsioon e mõõdetud suuremat uimasust (Noguchi & Sakaguchi, 1999).

Ühes katses moodustati 2 gruppi, kus ühel grupil olid olemasolevad valgustid värvsüsteemtemperatuuriga 2900 K ja teisel vahetati nende teadmata valgustiteks värvsüsteemtemperatuuriga 17000 K. Olulist muutusi täheldati sekkumisrühmas päevase unisuse (31%) ja väsimuse vähenemisena (26,9%), elujõu (28,4%), erksuse (28,2%), töövõime (19,4%) suurenemisena ja vaimne tervis (13,9%) paranemisena (Mills, 2007).



Joonis 14. Unisus (A) ja elujõud (B) 200 lx ja 1000 lx valgustuse seisundis hommikul ja pärastlõunal mõõtes; ** $p < 0,01$ (Smolders et al, 2012).

Joonisel 14 olevat unisust (A) mõõdeti Karolinska unisuse skaala (*Karolinska Sleepiness Scale*) abil, kus 1 tähendab ekstreemselt ergast ja 9 väga unist – võitleb unega. Elujõudu hinnati nelja punkti alusel, kus 1 tähendab unisust ja 4 energilisust. Tulemustest selgub, et 200 lx tingimustes olid inimesed oluliselt unisemad kui 1000 lx tingimustes. Suurema valgustustihedusega kaasnes ka suurem elujõu skoor.

Uuringud (Van Reeth et al, 1994; Buxton et al., 2003; Baehr et al, 2003; Miyazaki et al, 2001) on näidanud, et treening võib avaldada olulist tsirkaadrüümi faasinihke efekti ja see võib nihutada valguse-pimeduse ja une/ärkveloleku režiimi. Kuigi üldiselt eeldatakse, et füüsilise koormuse faaside nihutamise efekt on tunduvalt väiksem kui eredas valguses, on selle eelduse toetuseks vähe empiirilisi tõendeid. On leitud, et kui kasutada hilja õhtul või

varahommikul mõõdukalt intensiivselt jooksulinti, on võimalik tekitada faasinihe, mille ulatus vastab 1/3 nihkest, mis tekib kokkupuutel ereda valgusega (3000 lx) kolme tunni jooksul (Youngstedt et al, 2001).

Van Reeth et al (1994) leidis ligikaudu samaväärse faasinihke efekti, et kui treenida 2,5 tundi 50% ulatuses maksimaalsest intensiivsusest, mis on samaväärne enamikel inimestel mõõduka kõndimisega ja viibimisega 3 tundi 5000 lx valgustusega ruumis, mis põhjustab ligikaudu 90% faasinihet. Seega on usutav, et intensiivne treening ja samaväärse kestuse ning ajaga kokkupuude heleda valgusega võivad põhjustada sarnaseid faasimuutusi tsirkaadrütmis (Mistlberger & Antle, 1998; Mrosovsky, 1991; Ralph & Mrosovsky, 1992).

2.2.3. Psühho-bioloogilised mõjud

2.2.3.1. Valgustustingimuste subjektiivsed eelistused

Suhtelise nägemisvõime mudeli (Rea & Ouellette, 1991) põhjal on näha, et silm on suuteline maksimumi lähedast nägemisvõimet säilitama võrdlemisi laiades piirides. Mudel kirjeldab inimese jõudlust tööülesannete korral, mille kõige olulisem osa on visuaalne komponent – nt on tehtud kindlaks, et mudel toimib nii lugemise (Bailey et al, 1993) kui ka andmete sisestamise (Eklund et al, 2001) edukuse kirjeldamisel. Samas saavutatakse suhtelise nägemisvõime mudeli järgi maksimumi lähedane jõudlus tunduvamalt madalama valgustustiheduse juures kui seda näeks ette vastavad väärtused standardis EVS-EN 12464-1:2011. Boyce (1996) leiab, et selle põhjuseks on asjaolu, et standardis esitatud väärtused ei ole seotud ainult nägemisvõimega, vaid neid mõjutavad mitmed erinevad tegurid:

- **Praktilised kaalutlused** – valgustuspaigaldiste sobivus olemasolevatesse oludesse, turul saada olevate valgustuslahenduste tehniline tase ja valgustusparameetrite saavutatavad väärtused;
- **Poliitilis-finantsilised** – valgustusparameetrite väärtuste saavutamiseks tehtavate kulude ja eeldatavate hüvede suhe;
- **Emotionaalsed** – millisel määral vastavad loodavad tingimused inimeste ootustele ja kui mugavad need kasutajatele tunduvad.

Mõistes tööviljakust kui mingis ajaühikus valmistatud toodangu ja töökulu suhet (ÕS, 2013) on eeltoodud loetelu arvestades ilmne, et valgustustingimuste kontekstis on tööviljakuse tõstmiseks kaks võimalust: suurendada valgustustingimustega inimese jõudlust või vähendada töökulusid, viimast eelkõige elektrienergia kulu arvelt. Paraku ei ole see suhtelise nägemisvõime mudeli põhjal nüüdisaja nõuetele vastavate valgustuspaigaldistega inimese jõudluse täiendav suurendamine reaalne, sest lagi on saavutatud. Küll aga on reaalne elektrienergia kulu vähendamine, seda nii valgustuslahenduste energiatõhususe suurendamise, valgustuspaigaldiste eksploatatsiooni tõhustamise kui ka inimeste ootuste mõjutamise kaudu.

Eksploatatsiooni tõhustamine tähendab eelkõige valgustuspaigaldise juhtimist kohalolekuanduri, päevavalgusanduri või hämarduslüli (dimmeri) abil käsitsi või integreerituna DALI juhtimissüsteemi. Kui kohalolekuanduri ja päevavalgusanduriga saavutatav elektrienergia kokkuhoid põhineb nende seadistamisel kasutatavatest kriteeriumitest, siis hämarduslüli abil saavutatav kokkuhoid sõltub eelkõige valgustuspaigaldise kasutaja ootustest ja valgustustiheduse eelistustest.

Üldjoones arvatakse, et valgustustingimuste individuaalne juhtimine on vajalik, sest (Boyce et al. 2000): 1) võimaldades valgustundlikel töötajatel valgustustihedust vähendada on võimalik kokku hoida elektrienergiat; 2) tööd võivad sisaldada väga erinevate nõuetega

nägemisülesandeid, seetõttu võib valgustatuse reguleerimine olla vajalik nägemismugavuse tagamiseks; 3) individuaalse juhtimisvõimaluse olemasolu parendab töötajate meeleolu. Mõned uuringud (Newsham et al, 2004) kinnitavadki, et individuaalse valgustustingimuste juhtimisvõimaluse olemasolu parandab töötajate tuju, üldist heaolu ja vähendab ebamugavustunnet. Samas, tuju ja heaolu kõrgemad hinnangud ei panustanud märgatavalt töö edenemise (jõudluse) suurendamisse. Sarnased tulemused on ka Boyce jt (2006) - leiti, et reguleerimisvõimaluse puudumisel on valgustustingimustega rahulolematuid >50% töötajatest. Omaette küsimus on see, kui suurtes piirides peab hämarduslüli võimaldama tööpinna valgustustihedust muuta. Tabel 2 võtab kokku kolm sellel kümnendil tehtud uuringut.

Tabel 2. Tööpinna valgustustiheduse eelistuste sõltuvus hämarduslüli (HL) seadistusest, värviesituse üldindeksist (Ra) ja värvsüsteemtemperatuurist (T_{CP}, K)

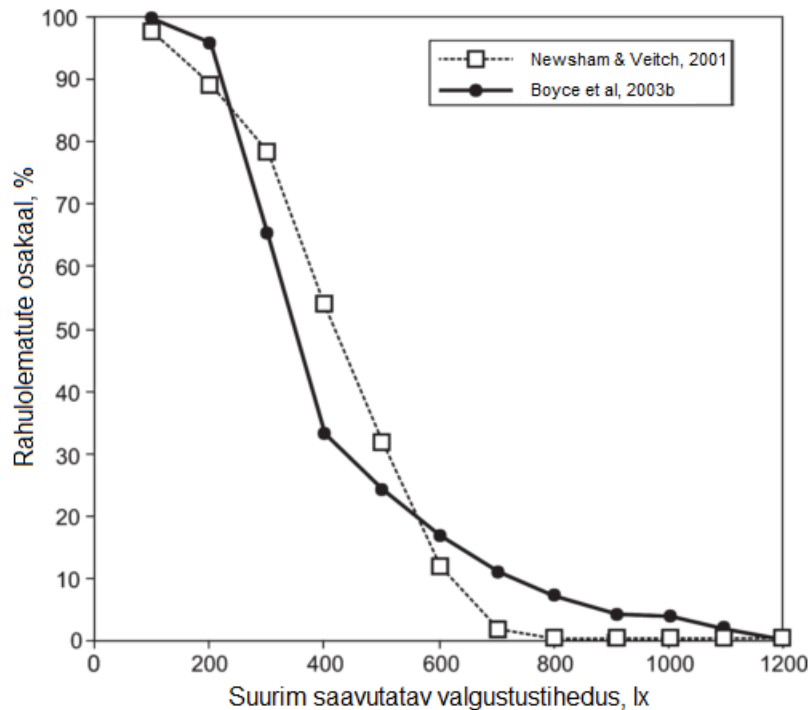
Allikas	Ra	T _{CP} , K	HL reguleerimise ulatus, lx	HLvaikesäte, lx	Eelistatud valgustustihedus, lx	HL vaikesäte, % diapasooneist	Eelistatud valgustustihedus, % reguleerimise ulatusest			
Fotios ja Cheal (2010)	-	2021-2886	48-1037	48	612	0	57			
				1037	699	100	66			
			83-1950	83	816	0	39			
				1950	1024	100	50			
			165-2550	165	952	0	33			
				2550	1219	100	44			
Logadóttir et al (2011)	85	3000; 4000; 6500	21-482	70	228-248	11	45-49			
				300	372-407	61	76-84			
				469	433-445	97	89-92			
			38-906	74	249-267	4	24-26			
				609	609-657	66	66-71			
				880	761-783	97	83-86			
			72-1307	72	234-255	0	13-15			
				882	817-868	66	60-64			
				1287	984-1065	98	74-80			
			Uttley et al (2013)	51	2940	40-500	86	218	10	39
							450	385	89	75
						40-700	86	250	7	36
630	488	89					68			

Tabelist 2 nähtuvad peamiselt kolm asjaolu, mis mõjutavad töötaja eelistust tööpinna valgustustiheduse suhtes:

- 1) töötaja eelistus tööpinna valgustustihedusele sõltub hämarduslüli reguleerimisulatusest - mida laiemas ulatuses on hämarduslülitiga võimalik valgustustihedust muuta, seda suurem on valgustustiheduse eelistuste keskmine;
- 2) töötaja eelistus tööpinna valgustustihedusele sõltub hämarduslüli vaikesättele vastavast tööpinna valgustustihedusest - mida suurem valgustustihedus saadakse lüli reguleerimise alustamisel, seda suurem on valgustustiheduse eelistuste keskmine;
- 3) töötaja eelistus tööpinna valgustustihedusele ei sõltu valgusti värvsüsteemtemperatuurist.

Tulemuste rakendamisel tuleb aga arvestada, et hämarduslüli reguleerimiskatsetes jaotusid valgustustiheduste eelistused ühtlaselt kogu skaala ulatuses, ning eelistatud valgustustiheduse suurenemine reguleerimisulatuse laienemisel vastab keskmisele taandumise reeglile. Seetõttu ei ole õige teha sellist tüüpi katsetest järeldus, et standardis esitatud väärtused ala- või ülehindavad tegelikke vajadusi. Reaalselt otstarbeka reguleerimisulatuse leidmiseks pole oluline niivõrd teada töötaja konkreetset eelistust vaid selle vahemikku (joonis 15). Jooniselt nähtub, et hämarduslülitiga, mis võimaldab saavutada

valgustustiheduse 700 lx on võimalik rahuldada vähemalt 90% töötajate valgustustiheduse eelistus. Võrdluseks, 10% rahulolematuid vastab standardis EVS-EN 15251:2007 sisekliima klassile II. Eeldades, et ka sellise hämarduslülitiga seadistuste korral toimib eelistuste keskmisele taandumise reegel võib eeldada, et keskmine valgustustihedus valitaks ligilähedane standardis EVS-EN 12464-1:2011 toodud väärtustele kui mitte mõnevõrra madalam. Võrreldes reguleerimisvõimaluseta valgustuspaigaldisega loob see eeldused nii energiasäästuks kui ka võimaluse valgustustihedust kohandada lähtuvalt nägemisülesande nõuetest.



Joonis 15. Inimeste osakaal, kes saavutavad endale sobivad valgustustingimused sõltuvalt suurimast, hämarduslülitiga saavutatavast valgustustihedusest (Boyce et al, 2006).

Kuigi hämarduslülitiga on võimalik saavutada kokkuhoidu elektrienergiast ja uuringud (Newsham et al, 2004; Boyce et al, 2006a) viitavad reguleerimisvõimalusega valgustuspaigaldiste kasutajate suuremale rahulolule takistab hämarduslülitiga potentsiaali täit rakendamist nende kasutatavus. Boyce jt (2006) uuringust selgub, et ca 4/5 töötajatest kasutab valgustuse reguleerimist kõigest kord päevas. Ilmselt sõltuvad hämarduslülitiga potentsiaalsed hüved eelkõige selle kasutamisest, mitte olemasolust. Selleks, et töötajad valgustuse juhtimise võimalusi kasutaksid on oluline, et hämarduslülitiga oleks kergesti ligipääsetav, selle kasutamine mõistetav ja võimaldama tingimuste märgatavat muutmist (Newsham et al, 2004). Nüüdisaegsed lahendused võimaldavad juhtimise tuua arvutiekraanile, nutitelefoni või eraldi juhtpuldina töölaual. Kui juhtimine on toodud töötajale lähemale paraneb hüve ja selleks vajaliku pingutuse suhe ja väheneb võimalus õpitud abitus tekkeks.

Kuna töötajate kaasamine energiasäästmisesse ei ole alati kõige lihtsam, otsustatakse mõnikord automaatsjuhtimislahenduste kasuks. Üheks selliseks võimaluseks on dünaamilised nõ inimkesksed valgustuslahendused, mis püüavad tagada valgustustingimuste kooskõla inimese tsirkaadrütmiga muutes tööpäeva vältel nii valgustustihedust kui ka värvus-temperatuuri. Ühe dünaamilise, inimkeskse valgustuslahenduse (valgustustihedust muudeti vahemikus 500-700 lx ja värvustemperatuuri vahemikus 3000 - 4700 K) võrdlusest fikseeritud (500 lx, 3000 K) valgustuslahendusega selgus, et dünaamiline valgustuslahendus ei pakkunud eeliseid inimese jõudluse, peavalude ja silmade ärrituse esinemise, valguse

ega unekvaliteedi osas kuid töötajate rahulolu oli dünaamilise valgustuslahendusega oluliselt suurem (de Kort & Smolders, 2010).

Peamised automaatjuhtumislahendustega rahulolematuse põhjused on nende valepostitiivne või –negatiivne rakendumine. Mitmed kohalolekuanduritega varustatud valgustuspaigaldise kasutajad kurdavad, et valgustus kustub ootamatult keset süvenemist nõudvat tööd. See rõhutab jällegi käsitsi juhtimise võimaluse ja juhtseadise asukoha läheduse olulisust.

Niisiis järeldeb eeltoodust, et teataval määral on töötajaid võimalik hämarduslüliti seadistusega kallutada energiasäästlikkuse suunas. Uuringud näitavad, et tööpinna valgustustiheduse eelistusi on võimalik mõjutada kui pöörata tähelepanu nii vertikaalpindade (Chraib et al, 2017) kui ka ruumi üldise heledusjaotusele (Sullivan & Donn, 2016). Chraib jt (2017) uurisid, tööpinna valgustustiheduse eelistusi arvutitöökohal, lähtuvalt seina heledusest ja seina heleduse ühtlusest (heleduse ühtlus defineeritakse standardi EVS-EN 12665:2011 kohaselt kui pinna vähima ja keskmise heleduse suhe). Töötamiskohas asunud kuvari heledus oli 100 cd/m^2 , muudeti seina heledust (50, 100 ja 200 c/m^2), seina heleduse ühtlust (heleduse ühtluse väärtus sõltus seina heledusest ja jäi tingimuses „ebaühtlane“ vahemikku 0,19-0,44; tingimuse „ühtlane“ korral oli heleduse ühtlus $\sim 0,23$ võrra suurem) ja hämarduslüliti vaikesätet (tööpinna valgustustihedus 300, 500, või 700 lx). Selgus, et seina heleduse 50 ja 100 cd/m^2 korral ei olnud heleduse ühtlusel eelistustele mõju, kuid 200 cd/m^2 heledusega seina korral eelistasid töötajad oluliselt madalamat tööpinna valgustustihedust.

Chraib jt (2017) järeldeb, et töötajate valgustustiheduse eelistus ei sõltu ainult nägemisülesande nõuetest, vaid eelistuses sisaldub kõikide nägemisvälja jäävate pindade üldmulje. Sellist järeldust toetab ka Sullivan ja Donni (2016) uuring ruumi kui terviku ereduse tajumisest. Võrreldes ruume, mille heleduse ühtlus jäi vahemikku 0,01-0,11 leiti, et suurema heleduse ühtlusega ruume tajutakse eredamana. Tiller ja Veitch (1995) ei täpsusta küll eksperimendis kasutatud heleduse ühtlust, kuid tööpinna valgustustiheduste 300, 500 ja 700 lx korral oli sama ereduse saavutamiseks suurema heleduse ühtlusega ruumis vaja 5-10% väiksemat valgustustihedust kui ühtlase heledusjaotusega ruumis. Vaatlusaluste usutlemise käigus pakkusid viimased, et nende subjektiivset taju mõjutasid ruumi heledate ja tumedate pindade vahelised kontrastid. Sellest võib järeldada, et tegemist on Chubbi illusiooni sarnase nähtusega ja valgustustiheduse eelistuse vähendamisega kaasnev võimalik elektrienergia sääst sõltub sellest, mis jääb töötaja vaatevälja hämarduslüliti juures. Arvestades, et reeglina moodustavad suurima osa nägemisväljast horisontaalpinnad tuleb eelkõige pöörata tähelepanu seinte heledusele. Teisalt toetab see ka kohtvalgustuse kasutamist, mis ruumis heleduse ühtlust pigem vähendab. Pikalt on teada, et tööpiirkonna kohtvalgustamine aitab hoida tähelepanu tööülesandel ning kõrvalised valgusallikad nägemisväljas hajutavad tähelepanu (Hopkinson & Longmore, 1959). Samas jõuab Veitch (2001) kirjanduse analüüsi käigus tõdemusele, et kogu ruumi kontekstis on heleduse ühtluse tähelepanu hoidev mõju arvestatav vaid vertikaalpinnal asetseva tööpiirkonna korral (nt. koolitahvel), horisontaalpinnal asetseva tööpiirkonna korral ei ole selline mõju arvestatav.

Katsed taolise subjektiivsusega seotud tähelepanekuid praktikasse rakendada on olnud väga erineva keerukuse astmega. Üldjoones lähtutakse põhimõttest, et inimese reageering ruumi valgustamise viisile on vähemalt teatud piirides jagatav kogemus. Teedrajav Flynn jt (1979) eristas muljed kolmeks: 1) taju kategooria – nägemise selgus, ruumikus, ruumiline keerukus, värvuse toon, rägus; 2) käitumuslik keskkond – muljed skaalal a) avalik-privaatne b) rahustav-pinev 3) üldine meeldivus. Mõnevõrra muudetud kujul on need jõudnud Põhja-Ameerika valgustusinseneride ühingu käsiraamatusse tabel 3.

Veitch (2001) soovitab, aga Flynn'i uurimistööd mitte arvesse võtta, sest korduseksperimendid pole suutnud sellistes piirides jagatud kogemuse olemasolu kinnitada. Kaks tegurit milles on leitud järjepidevus on erendus ja heledusjaotus (Veitch, 2001). Kuid nende põhjal on valgustustingimuste hindamisel võimalik inimlikkuse mõõdet arvestada mõnevõrra väiksemal määral. Näiteks nii nagu seda teeb valgustuse ergonoomilise indikaator **ELI**.

Tabel 3. Valgustustingimuste taju tegurid (DiLaura et al, 2011)

Mulje	Meeldivus	Privaatsus	Rahustav	Ruumikus	Nägemise selgus
Valgustuse tegur ¹⁻⁴	Perimeeter Ebaühtlane Ere	Ebaühtlane Sume Perimeeter	Perimeeter Ebaühtlane Sume	Ühtlane Perimeeter Ere	Ere Perimeeter Ühtlane

¹ tegurid on järjestatud olulisuse järgi ² Mõisteid sume ja ere on kasutatud suhtelises tähenduses, puuduvad teadaolevad kvantitatiivsed väärtused; arvestada tuleb ka pindade peegeldustegurite mõjust tuleneva näivusega. ³ ebaühtluse all on antud juhul mõeldud et heledusjaotus on pindade lõikes vahelduv, kuid mitte täiesti juhuslik või kaootiline; ühtlane viitab heledusjaotuse korrapärasusele. ⁴Perimeeter viitab valgusallikate paiknemisele nägemisvälja servas või ruumi perimeetril.

Valgustuse ergonoomilisuse indikaator (Dehoff, 2012) inglise k *ergonomic lighting indicator* on mõõdik, mis on mõeldud täiendama valgustusenergia arvnäitajat LENI (*Lighting Energy Numeric Indicator*) (EVS-EN 15193-1:2017), eesmärgiga lisada viimasele inimlikkuse mõõde. ELI mõõdik sisaldab eraldi ankeete projekteerimiseks (vajaduste väljaselgitamiseks) ja hetkeolukorra hindamiseks. Hinnatavaid tegureid on viis:

1. **Nägemisvõime** – kui hästi on võimalik nägemisülesannet täita?
2. **Ilme** – kuidas soovitakse keskkonnas valgustuslahendust kogeda?
3. **Nägemismugavus** – kui suurt nägemismugavust on ruumis tarvis?
4. **Emotsioon (elujõulisus)** – kui positiivne peaks olema valguse mõju inimesele?
5. **Individaalsus (väestamine)** – millises ulatuses peab olema võimalik valgustust kohanda individuaalsele vajadusel

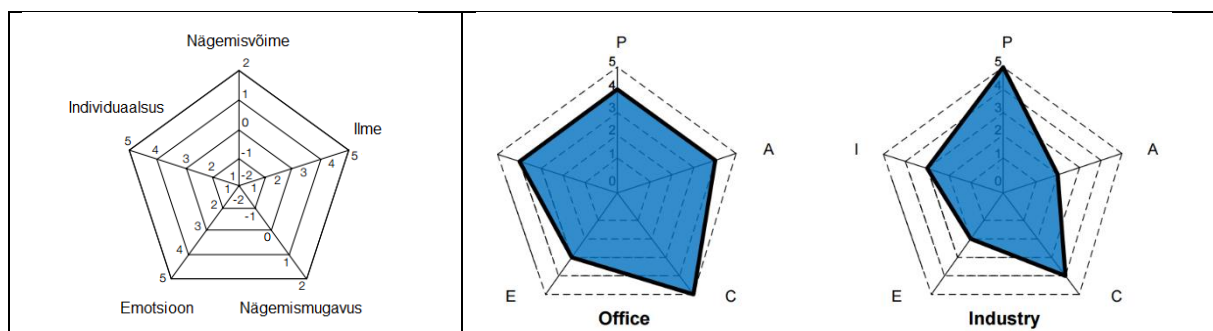
Hindamiseks kasutatakse Likerti skaala lähenemisega ankeeti (tabel 4), lõpptulemuse näited joonisel 16.

Tabel 4. ELI hindamisankeet

<p>1. Nägemisvõime Peamise nägemisülesande tööpiirkonna valgustus: ... tagab valgustustiheduse vastavuse hooldeväärtusel ... tagab valgustustiheduse ühtluse ... tagab piisava värviesituse üldindeksi Nägemisülesande vahetu ümbruse valgustustihedus vastab nõutule Valgustuspaigaldis võimaldab vältida: ... tugevate häirivate varjude teket ... rägust ... häirivaid peegeldusi * - miinimumkriteerium lähtuvalt standardis esitatud väärtusest</p>	<table border="1" style="margin-bottom: 10px;"> <tr><td>-2</td><td>-1</td><td>0*</td><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td>-2</td><td>-1</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td>-2</td><td>-1</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td></tr> </table> <table border="1"> <tr><td>-2</td><td>-1</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td>-2</td><td>-1</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td>-2</td><td>-1</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td>-2</td><td>-1</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td></tr> </table> <p style="text-align: right;">Keskmine: <input style="width: 50px;" type="text"/></p>	-2	-1	0*	1	2	-2	-1	0	1	2	-2	-1	0	1	2	-2	-1	0	1	2	-2	-1	0	1	2	-2	-1	0	1	2	-2	-1	0	1	2
-2	-1	0*	1	2																																
-2	-1	0	1	2																																
-2	-1	0	1	2																																
-2	-1	0	1	2																																
-2	-1	0	1	2																																
-2	-1	0	1	2																																
-2	-1	0	1	2																																
<p>2. Ilme Valgustuslahendus: ... võimendab sisekujunduse elemente ... vastab minu isiklikele eelistustele ja ootustele ... arvestab käiguteede ja tööpiirkondadega ... rõhutab olulisi pindu Valgustid jätavad kvaliteetse mulje Valgustid on puhtad 1- ei nõustu üldse, 5 – nõustun täielikult</p>	<table border="1"> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr> </table> <p style="text-align: right;">Keskmine: <input style="width: 50px;" type="text"/></p>	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5					
1	2	3	4	5																																
1	2	3	4	5																																
1	2	3	4	5																																
1	2	3	4	5																																
1	2	3	4	5																																
1	2	3	4	5																																

Tabel 4. ELI hindamisankeedi jätk

<p>3. Nägemismugavus Valgustuslahendus ei tekita rägust (UGR) Valgustuse komponendid on tasakaalustatud ja vastavad ruumile Seinad ja lagi on meeldivalt heledad Valgustuslahendus ... arvestab päiksevalgusega ja kasutab seda ära ... ei värele ... ei tekita ruumi suuri pimedaid alasid Nägemisülesande tööpiirkond on ühtlase valgustustihedusega</p> <p>* - miinimumkriteerium lähtuvalt standardis esitatud väärtusest</p>	<table border="1" style="margin-bottom: 10px;"> <tr><td>-2</td><td>-1</td><td>0*</td><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td>-2</td><td>-1</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td>-2</td><td>-1</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td></tr> </table> <table border="1" style="margin-bottom: 10px;"> <tr><td>-2</td><td>-1</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td>-2</td><td>-1</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td>-2</td><td>-1</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td>-2</td><td>-1</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td></tr> </table> <p style="text-align: right;">Keskmine: <input type="text"/></p>	-2	-1	0*	1	2	-2	-1	0	1	2	-2	-1	0	1	2	-2	-1	0	1	2	-2	-1	0	1	2	-2	-1	0	1	2	-2	-1	0	1	2
-2	-1	0*	1	2																																
-2	-1	0	1	2																																
-2	-1	0	1	2																																
-2	-1	0	1	2																																
-2	-1	0	1	2																																
-2	-1	0	1	2																																
-2	-1	0	1	2																																
<p>4. Emotsioon Valgustus: ... on üks teguritest, mis tekitab hea enesetunde ... on stimuleeriva toimega ... vastab ereduse vajadusele ... jätab loomuliku ja meeldiva mulje ... stabiliseerib/ võimendab kasutaja tsirkaadrütmid Puuduvad ärritajad</p> <p>1- ei nõustu üldse, 5 – nõustun täielikult</p>	<table border="1" style="margin-bottom: 10px;"> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr> </table> <p style="text-align: right;">Keskmine: <input type="text"/></p>	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5					
1	2	3	4	5																																
1	2	3	4	5																																
1	2	3	4	5																																
1	2	3	4	5																																
1	2	3	4	5																																
1	2	3	4	5																																
<p>5. Individuaalsus Valgustust on võimalik juhtida (lülitada või hämardada) Võimalik on tekitada erinevaid valgustustingimusi (<i>lighting scenes</i>) Kohalolekuandur tagab, et juhtimine on automaatne Päevavalgusandur tagab valgustuse juhtimise lähtuvalt välitingimustest Võimalik on kasutada automaatseid dünaamilisi valgustustingimusi Valgusteid ja lülitaid saab lihtsalt ringi paigutada Valgustite paigutus võimaldavad ilma suurema vaevata muuta ruumi kasutamise otstarvet</p> <p>1- ei nõustu üldse, 5 – nõustun täielikult</p>	<table border="1" style="margin-bottom: 10px;"> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr> </table> <table border="1" style="margin-bottom: 10px;"> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr> </table> <p style="text-align: right;">Keskmine: <input type="text"/></p>	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	2	3	4	5																																
1	2	3	4	5																																
1	2	3	4	5																																
1	2	3	4	5																																
1	2	3	4	5																																
1	2	3	4	5																																
1	2	3	4	5																																



Joonis 16. ELI indeksi visualiseerimine: vasakul hinnangu vormistamise põhi; paremal näited (Benediktsson, 2009) kontoriruum ELI = 20 ja tööstus ELI = 16.

Kokkuvõttes tuleb inimese eelistustega arvestada. Wright ja Cropanzano (2000) proovisid mõista, kumb konstruktsioonidest – tööga rahulolu (job satisfaction) või heaolu (well-being) ennustab paremini töötaja jõudlust. Selgus, et jõudluse ja heaolu vaheline seos oli statistiliselt oluline, aga jõudluse ja tööga rahulolu vaheline seos puudus. Wraight ja Straw (1999) soovisid teada, kas jõudlust mõjutav heaolutunne on olemuselt lühiajaline (meeleolu) või püsiv (dispositsionaalne afekt). Selgus, et töötaja jõudlust ennustab pigem dispositsionaalne afekt. Kuigi erinevus töötaja eelistuste ja tegelike tingimuste vahel mõjutab

töötaja meeleolu (Newsham & Veitch, 2001) on võimalik, et aja jooksul toimub ka töötaja eelistuste kohandumine tegelike oludega (Boyce et al, 2003a).

2.2.3.2. Loomuliku valguse olemasolu

Mitmed energiasäästu eesmärgil läbi viidud renoveerimised on suurendanud loomuliku valguse osa valgustuslahenduses ja seostavad seda suurema tööviljakusega (Romm & Browning, 1994). Samas on loomuliku valgustuse olemasolu ja tööviljakuse suurenemise seose tõenduspõhisus küsitav. Peamine küsimus on selles, kas loomulik valgus on millegi poolest parem kui tehisvalgustus või mõjutab töötajat hoopis loomuliku valguse kasutamise eeldus – akende olemasolu?

Füüsikaliselt on nii loomulik kui ka tehisvalgus elektromagnetkiirgused, mis tekitavad inimese silmas valgusaistingu. Erinevused võivad, aga ei pruugi olla valguse spektris, kuid peamine erinevus on loomuliku valguse spektri muutumises (Boyce et al, 2003a) päeva ja aastaaegade vältel. Isegi kui dünaamilise valgustuslahendusega üritatakse päeva jooksul toimuvaid muutusi imiteerida (de Kort & Smolders, 2010) on tegemist eelprogrammeeritud lahendusega, mis ei jäljenda ilma vaheldumisega kaasnevaid muutusi. Samas pole tavaoludes akromaatilise (värvusetu) nägemisülesande korral spektril nägemisvõimele mõju, kuid spektri mõjuga peab arvestama nägemisvõime läve läheduses ja siis kui nägemisülesande rõhuasetus on värvuste eristamisel (Boyce et al, 2003a).

Boyce jt (2003a) refereerib Santamaria ja Benneti (1981) eksperimenti, kus erineva raskusega nägemisülesannete (nõelale niidi taha panemine, graafikute lugemine ja teksti korrektuurlugemine) täitmisel võrreldi jõudlust loomuliku valguse ja külma valge luminofoorlambi valguse tingimustes. Ainus erinevus leiti korrektuurlugemises – loomuliku valgustuse korral suudeti seda teha 5% kiiremini. Eeldatavasti on põhjus silmaliigutuste (sakaadide) rütmi muutumises valguse väreluse tõttu (Kennedy & Murray, 1991), teatavasti väreleb luminofoorlambi valgus sagedusega 100 Hz.

Suurim füüsikaline erinevus loomuliku ja tehisvalgustuse vahel avaldub valgustustihedustes. Teadupärast on päevasel ajal õues tunduvalt suurem valgustustihedus kui siseruumideks. Praktikas tähendab see seda, et loomuliku valgusega ruumides on valgustustihedus suurem eelkõige akna alustel horisontaalpindadel, kuid samas ka kogu ruumi vertikaalpindadel. Viimane vähendab näiteks ruumi süngust (Shepherd et al, 1992). Huvitaval kombel kaasneb võimalusel suuremate loomuliku valgustuse valgustustiheduste korral ka inimeste eelistus tehisvalgustuse suuremate valgustustiheduste suunas (Begemann et al, 1997). Eeldatavasti soovitakse siin ühtlustada kontrasti aknast kaugmiste seinte ja ruumi teiste pindade vahel.

Kokkuvõtteks saab öelda, et füüsikalisest lähepunktist tulenevalt sõltub loomuliku valguse positiivne mõju eelkõige sellest, kuidas seda valgustuslahenduses kasutatakse. On võimalik, et loomulik valgustus võib ka nägemisvõimet pärssida kui valgustuslahenduse tõttu langeb loomulik valgus nägemisülesandele viisil, mis vähendab nähtavust ebapiisava valgustustiheduse, räiguse, loorpeegelduse või tugevate varjude tõttu.

Valdav enamus soovivad, et nende tööruumides oleksid aknad (Cuttle, 1983). Võiks eeldada, et akna kõige olulisem funktsioon on võimaldada loomuliku valgustuse pääs ruumi, kuid see ei pruugi inimeste eelistuste puhul nii olla. Büroorumide tingimustes võib inimeste jaoks olla hoopis olulisem akna kaudu saadav temporaalne informatsioon (Butler & Biner, 1989). Aknast nähtu põhjal on võimalik teha järeldusi päeva edenemise kohta ja hinnata oma tõised

edusamme kella vaatamata. Akna suuruse eelistused sõltuvad samuti pigem aknast avanevast vaatest kui valguse vajadusest (Ne'Eman & Hopkinson, 1970; Butler & Steuerwald, 1991). Heerwagen ja Orian (1986) täheldasid, et ilma akendeta bürooruumides kasutavad töötajad kaks korda enam seinakaunistusi kui akendega bürooruumides. Erinevus oli ka seinakaunistuste sisu, akendeta bürooruumides moodustasid valdava osa maastikuvaated või looduspildid, samas akendega bürooruumides seinakaunistuste kategooriate eelistus puudus. Viimane fakt on võimalik siduda nn biofiilia hüpoteesiga – side loodusega võib olla inimesele loomulik vajadus, sideme hoidmiseks on akende olemasolu hädavajalik.

Need töötajad, kelle tööruumis aken puudub, tunnevad sellest oluliselt rohkem puudust kui need, kelle tööruumis on aken olemas selle olemasolu väärtustavad (Boubekri & Haghghat, 1993). Töötajad võivad loobuda pikaks ajaks loomulikust valgusest ja vaatest aknast välja kui seetõttu kannatab soojusmugavus või väheneb privaatsus. (Maniccia et al, 1999). Kardinal jäetakse ette ka pärast otsese päiksekiirguse mõju lõppemist, kui mitte päevadeks, siis kuudeks (Rea, 1984). Sellest võib järeldada, et biofiilia (eelsoodumus armastada kõike elusat ja toetada elurikkust) ei ole vähemalt esmane akende vajaduse tegur. Pigem võib akende ja loomuliku valguse vajadust seletada inimeste eelarvamusega, et loomulik valgustus on parem kui tehisvalgustus (Sullivan, 2013). Samas usutakse taolise eelarvamuse raames pigem seda, et tehisvalgustus on tervisele kahjulik kui seda, et loomulik valgustus on millegi poolest parem. Mingil määral võib selles uskumuses ka tõde olla, sest uuringutes (Wilkins et al, 1989) on leitud seos peavalude esinemissageduse ja tööpindade loomuliku valgustuse valgustustiheduse vahel.

Loomuliku valguse efektiivsemaks kasutamiseks on kahtlemata vajalik, et pärast ebasoodsate tingimuste (soojuskiirgus) möödumist kardinal akna eest taas ära tõmmatakse. Kuna inimesed ise seda tegema ei kipu (O'Brien, 2013) on mõistlik see automatiseerida. Lisaks eeltoodule ka privaatsuse vajadust arvestav lahend (Tzempelikos & Athienitis, 2003), mis jagab akna pinna kaheks. Aknapinna ülemist osa kasutatakse loomuliku valguse pääsuna ruumi ja seda tuleb juhtida automaatika abil. Akna alumise osa peamiseks funktsiooniks on võimaldada töötajal õue vaadata ja selle kardinaid võib juhtida käsitsi.

3. METOODIKA

3.1. Uurimisobjektid, uuritavad, ankeetmeetod

Uurimisobjektideks olid Lõuna-Eestis asuvad Riigi Kinnisvara AS-i hallatavad bürooruumid ja haridushooned. Tehisvalgustuse mõõtmise valimis oli esialgselt 61 asutust, millest valiti välja bürooruumid ja haridushooned. Pärast asutuste valimist, moodustasid lõpliku grupi 23 asutust. Tehisvalgustuse mõõtmisi sooritati kümnes asutuses, millest kuus olid bürooruumid ja neli olid haridushooned.

Uuritavateks olid Lõuna-Eestis asuvad Riigi Kinnisvara AS-i hallatavate haridushoonete ja bürooruumide kuvariga töötajad, kus oli kokku 598 töötajat. Elektroonilise ankeetküsitlusele vastas 210 töötajat (vastamismäär 35%). Uuritava grupi moodustamise tingimusteks oli töö kuvariga ja tööstaaž vähemalt üks aasta. Lõpliku valimi moodustas 199 töötajat, kes moodustasid uuritavatest 33%.

Ankeetküsimustik oli elektrooniline ning saadeti vastamiseks Lõuna-Eestis asuvale 23 asutuse töötajatele ajavahemikus 22.02 – 16.03.2017. Töötajad said vastamiseks aega seitse päeva, mille möödumisel neile anti ajapikendust viis päeva. Töötajad said elektroonilisele ankeetküsitlusele vastata just neile sobival ajal ning ankeetküsitluse täitmine võttis keskmiselt aega kümme minutit.

Töökeskkonnas esinevate ohutegurite väljaselgitamiseks kasutati ankeetküsimustikku, kus töötajad andsid subjektiivse hinnangu töökeskkonna ja valgustuse tingimuste, töö iseloomu ning oma tervise sh töövõime kohta. Ankeetküsimustik on koostatud rahvusvaheliste küsimustike põhjal (*WAI – Work Ability Index*, *COPSOQ – Copenhagen Psychosocial Questionnaire* ja *CUPID – Cultural and Psychosocial Influences on Disability*) ning kohandatud sobivaks kuvariga töötajatele (Tuomi et al, 1994; NRCWE, 2007; Coggon 2012). Ankeedis olid küsimused jaotatud teemade kaupa kaheksasse alagruppi:

1. Demograafilised andmed
2. Füsioloogilised ja psühholoogilised ohutegurid
3. Tehisvalgustus (valgustid laes)
4. Loomulik valgustus (päikesevalgus)
5. Füüsilised ohutegurid
6. Arvutiga töö
7. Tervis ja töövõime
8. *WAI* – töövõime indeks

Ankeetküsimustikus oli küsimusi kokku 78. Küsimustele oli võimalik vastata „jah/“ei“ ja *Likert* tüüpi skaalal 0-3, kus 0 – ei, 1 – harva, 2 – tihti, 3 – alati. Küsimuste valikvastused tähendasid: alati – kogu aeg, pidevalt, igapäev, tihti – mõned korrad nädalas, harva – mõned korrad kuus ja ei – üldse mitte. Samuti oli võimalik anda hinnanguid avatud vastustena. *Likert* tüüpi 10-palli skaalat kasutati ka praeguse töövõime hinnangu teada saamiseks, kus halvim töövõime võrdus null-punktiga ja parim kümne punktiga.

Elektrooniline küsimustik koostati *Google Forms*’is. Tulemused salvestati otse *MS Excel* arvutiprogrammi. Demograafiliste andmete tulemuste põhjal arvutati välja kehamassiindeks (KMI), mis näitab töötaja kaalu ja pikkuse suhet. KMI alusel jaotati töötajad nelja kategooriasse: alla $18,5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ – alakaal, $18,5 - 24,9 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ – normaalkaal, $25,0 - 29,9 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ – ülekaal ning üle $30,0 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ – rasvumine (WHO, 2017). *WAI* välja arvutamiseks

kasutati WAI kalkulaatorid ning tulemused saadi vahemikus 7–49 (BUW, 2012). WAI tulemuste kategooriad on esitatud tabelis 5.

Tabel 5. Töövõime kategooriad ning indeksi väärtused

Töövõime kategooria	Indeksi väärtus
Suurepärane	44–49
Hea	37–43
Keskmine	28–36
Kehv	7–27

Küsimustiku tulemused töödeldi andmetöötlusprogrammiga SPSS.24.0 (*Statistical Package for the Social Sciences*). Andmetöötlusprogrammi abil saadi kirjeldav statistika, χ^2 – test ja *Spearmani* korrelatsiooni analüüs. Tulemuste analüüsis arvestati statistiliselt olulist erinevust $p \leq 0,05$.

3.2. Valgustustiheduse, värvsustemperatuuri ja värviesituse üldindeksi mõõtmised

Tehisvalgustatuse mõõtmised viidi läbi 10.03 – 31.03.2017, kui asutustes täideti oma igapäevaseid tööülesandeid. Mõõtmisi sooritati ajavahemikus 09.00 – 15.30. Mõõtmisi teostati kümnes asutuses, millest kuus olid büroohooned ja neli olid haridushooned. Tehisvalgustatuse mõõtmisi sooritati asutuste 1/3 ruumides, kus kasutati tööülesannete täitmisel kuvarit. Mõõtmiste ajaks tõmmati ette aknakatted. Tööle lülitati kõik ruumis olevad valgusallikad, et määrata maksimaalne võimalik tulemus. Enne mõõtmise alustamist lasti valgusallikatel soojeneda töötemperatuurini. Valgustustiheduse mõõtepunktide valikul kasutati vastavat rastersüsteemi, mis nägi ette, et 1,0-meetrise tööpiirkonna korral tuli valgustustiheduse mõõtmisi sooritada 0,2-meetrise vahega (EVS-EN 2464-1:2011). Valgustatuse mõõtmiseks kasutati luksmeeter spektrianalüsaatorit Gigahertz Optik MSC15 (nüüdisaegne luksmeeter, mis on DIN 5032 osa 7 järgi B-klassi mõõtesead). See võimaldab mõõta nii valgustustihedust, värvsustemperatuuri ja värviesituse üldindeksit.

Igast töökohast mõõdeti töötasapinna ühest punktist värvsustemperatuuri ja värviesituse üldindeksit ning kuuest punktist valgustustihedust. Pärast valgustustiheduse mõõtmisi hinnati, kas töökohal võib esineda rägust. Juhul kui sellist olukorda ei olnud, mindi mõõtmistega edasi.

3.3. Valgustitest tuleva heleduse mõõtmised ja diskomforträäguse leidmine

Diskomforträäguse hindamiseks mõõdeti heledust kõigis kümne asutuse ruumides, kus uurija leidis, et võib olla rääguse esinemise võimalus. Heleduse mõõtmiseks kasutati andurit: *Delta OMH*, mille vaatenurk oli 2° . Andur kinnitati statiivile ning seejärel sätiti andur kuvariga töötaja silmade kõrgusele, milleks oli 1,2 meetrit. Seejärel seati andur kuvariga töötaja töökohale ning mõõdeti heledust nendel töökohtadel, kus oli rääguse esinemise võimalus. Heleduse mõõtmiseks suunati andur räägust tekitava valgusti poole. Heleduse tulemusi kuvas foto-radiomeeter, mille näit (L) pandi kirja rääguse mõõtmistulemuste registreerimise ankeedile, mille päis on esitatud tabelis 2.2. Kuvariga töötaja silmade kõrguselt mõõdeti luksmeetriga *Gigahertz Optik MSC15* valgustustihedust (L_B). Valgustite kauguste ja kõrguste leidmiseks kasutati *Bosch'i* laserkaugusmõõtjat. Rääguse mõõtmiste registreerimise tabelisse kanti veel järgmised väärtused: v – lambi kõrgus silmadest; l – valgusti kaugus inimese

ilmast; r – valgusti kaugus samas tasapinnas; t – valgusti kaugus diagonaalis; A – valgusti mõõtmed.

Sisevalgustuspaigaldistest tekkivat diskomforträägust hinnatakse Rahvusvahelise Valgustuskomisjoni (*Commission Internationale de l'Éclairage, CIE*) ühtsuse räägusteguri *UGR*) tabelmeetodi põhjal, mis leitakse valemiga

$$UGR=8\log_{10}\left(\frac{0,25}{L_B}\sum\frac{L^2\omega}{p^2}\right)$$

kus L_B on tausta heledus (cd/m^2), mis arvatuna on jagatis E_{ind}/π , kus E_{ind} on püstpinna kaudvalgustustihedus vaatleja silma kõrguselt (lx);

L on heledus, mis tekib iga valgusti helendavatest osadest ning paistab vaatleja silma suunas (cd/m^2);

ω on vaatleja silma asukohast valgusti helendavaid osi haarav ruuminurk (sr);

p on valgusti *Guthi* suunategur nägemissuuna suhtes (Ashdown 2005).

4. ANKEETKÜSIMUSTIKU TULEMUSED

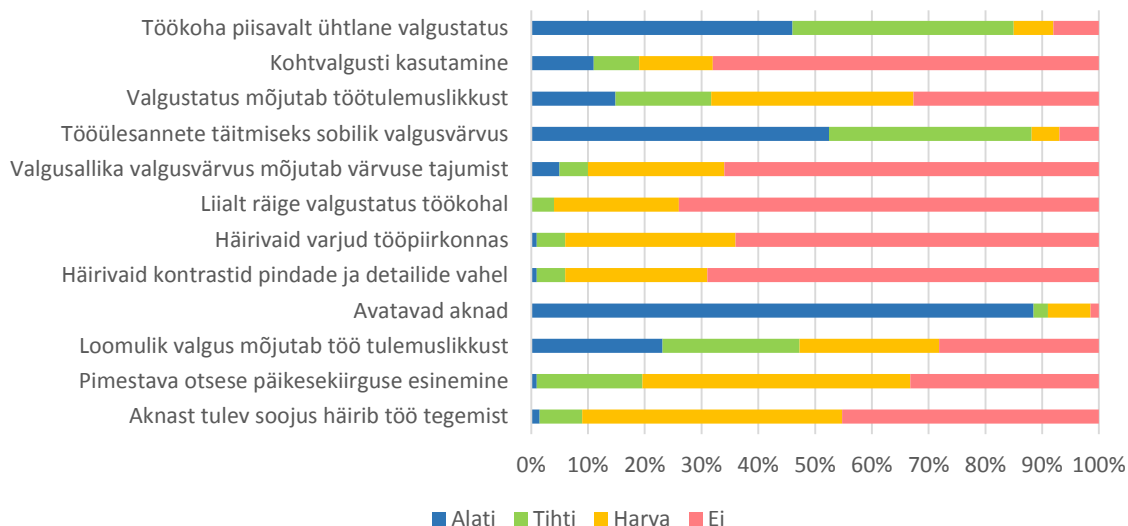
Küsimustikule vastas 210 töötajat 17-st Riigi Kinnisvara AS-i poolt hallatavatest asutusest (vastamise määr 35%). Võttes arvesse tööstaaži vähemalt üks aasta ning tööd kuvariga, moodustas lõpliku grupi 199 töötajat. Küsimustikule vastati ajavahemikus 22.02 – 16.03.2017. Individuaalsed ja tööalased näitajad on esitatud tabelis 6.

Tabel 6. Individuaalsed ja tööalased näitajad (n=199)

Näitajad	Kategooriad	n	%
Sugu	Naine	151	76
	Mees	48	24
Vanus (aastat)	20–29	24	12
	30–39	43	22
	40–49	42	21
	50–59	60	30
	60–69	30	15
Asutuste töötajad	Büroo	133	67
	Haridusasutus	65	33
Ametid	Spetsialistid	84	42
	Pedagoogid	51	26
	Nõunikud, konsultandid	49	25
	Juhid	15	7
Haridustase	Keskharidus	11	6
	Kõrgharidus	155	77
	Rakenduskõrgharidus	15	8
	Keskeriharidus	14	7
	Kutseharidus	4	2
Kehamassiindeks (kg·m ⁻²)	Alakaal (<18,5)	5	3
	Normaalkaal (18,5–24,9)	86	43
	Ülekaal (25,0–29,9)	70	35
	Rasvumine (>30,0)	38	19
Käelisus	Parema	183	92
	Vasaku	9	5
	Mõlemakäeline	7	3

Töötajate keskmine vanus (\pm SD) oli 46 ± 12 aastat ning jäi vahemikku 21 – 68 aastat. Ankeetküsimustikule vastanutest oli 85% töötajatest kõrgharidus. Töötajate keskmine tööstaaž oli 12 ± 10 aastat. Põhitööaja kestus nädalas oli keskmiselt $38,0 \pm 7,5$ tundi. Enamik töötajatest (81%) töötab istuvas tööasendis. Töötajatest olid 92% paremakäelised. Vastanute peamiseks tööülesanneteks oli kuvariga töö, kirjutamine, lugemine, arvutamine, kirjade saatmine ja muud töötegevused seonduvalt kontoritööga. Haridustöötajatel oli veel lisaks õpetamine, tundide ettevalmistamine ja õpilaste juhendamine.

Tehisvalgustatust hindas piisavaks 87% vastanutest (joonis 17). Valdava osa vastanute (90%) arvates tehisvalgustuse värelemist ei esine. Tööruumi paigutamisel tuleb arvestada valgusti asukohaga, et valgusti asuks töölaua kohal. Enamik vastanute (77%) tööruumides oldi töökoha kujundamisel sellega arvestatud ning valgustid asusid töölaua kohal. Töökoha valgustust ei saa reguleerida 71% töötajatest. Valgusallikate valgusvärvuseks on 51% valge, 31% kollakas ja 5% sinakas.



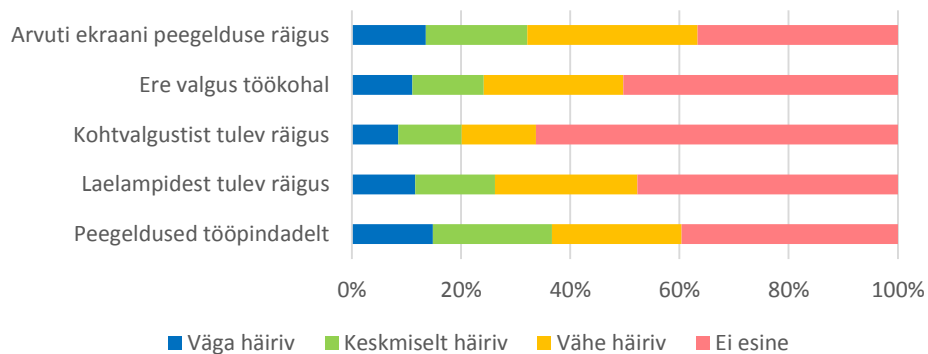
Joonis 17. Tehis- ja loomuliku valgustuse hinnangute jaotus ($n = 199$).

Töökohad on enamik töötajate (85%) arvates piisavalt ühtlaselt valgustatud ning nende tööruumis on tööülesannete täitmiseks sobilik valgusvärvus. Piisava valgustuse tõttu ei esine enamik töötajatel kohtvalgustite kasutamise vajadust, mille tõttu kohtvalgustit ei kasuta üldse 2/3 töötajatest. Valgustatus mõjutab 1/3 töötajate hinnangul töötulemuslikkust. Suur osa ehk peaaegu 70% töötajatest leidsid, et töökohal ei esine liialt räiget valgustust, häirivaid varje ega häirivaid kontraste pindade ja detailide vahel. Enamik töötajaid leidsid, et valgusallika valgusvärvus ei mõjuta nende värvuse tajumist.

Pea enamuse töötajate (99%) tööruumides on olemas aknad ning valdava osa vastanute arvates on aknad puhtad. Suur osa (91%) vastanutest saab soovi korral aknaid avada. See on oluline ruumide tuulutamisel ja ruumide värsket õhuga varustamisel, et säilitada töötajate töövõime, kui ventilatsioonisüsteem pole piisavalt efektiivne (33% vastanutest hindas ventilatsioonisüsteemi ebapiisavaks). Valgust reguleerivad katted on olemas 82% ning osaliselt olemas 13%. Tööruumides, kus kuvariga töökohad, peab akendel peab olema valgust reguleeriv kate, et vältida arvutiekraanile tekkivaid peegeldusi, lähtudes Eesti Vabariigi määrusest „Kuvariga töötamise töötervishoiu ja tööohutuse nõuded“ (RT I 2000, 86, 556). Pimestavat otsesest päikesekiirgust akendest võib esineda mingil määral 68% vastanutest. Peaaegu poolte (47%) vastanute arvates mõjutab loomulik valgus nende töö tulemuslikkust. Loomulik valgustus paistab töökohtadele enamasti paremalt ja vasakult poolt. Aknast tulev soojus ei häiri üldse peaaegu pooli (45%) töötajaid.

Töötajate jaoks on enim häirivaks arvuti ekraani peegelduse rüüsus ja peegeldused tööpindadelt (joonis 18). Töökeskkonnas on häirivateks teguriteks ere valgus 24% vastanute arvates ja laelampidest tulev rüüsus 27% vastanute arvates. Kõige vähem häiris töötajaid kohtvalgustist tulev rüüsus.

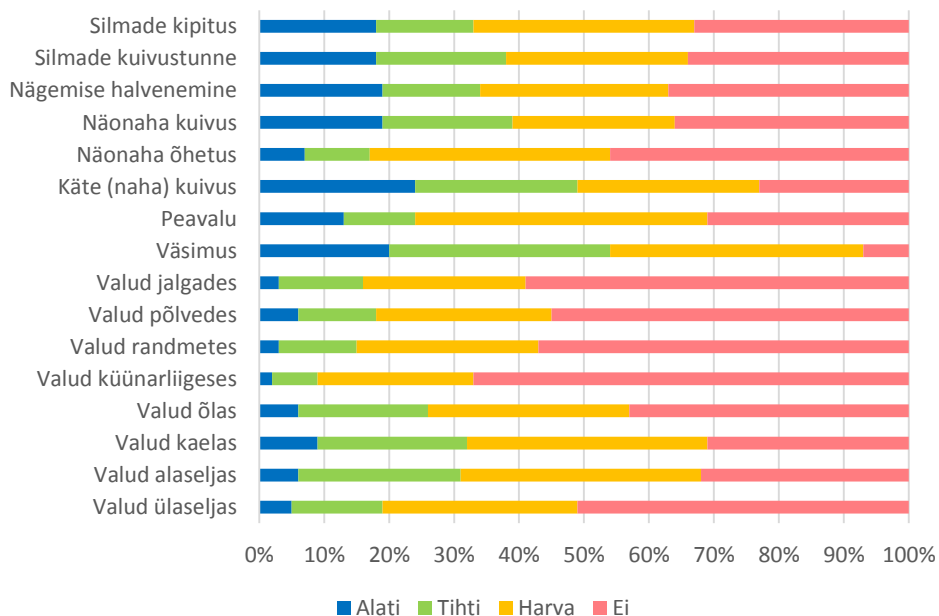
Tööruumi õhku hindas enamasti kvaliteetseks 81% vastanutest. Õhutemperatuuri kõikumisi esineb peaaegu 1/3 töötajate arvates. Õhk on tihti kuiv olnud hinnangulisel 52% töötajate arvates ning harva 26% arvates. Ventilatsioon on piisav 67% arvates. Tööd segavat müra põhjustab enim kaastöötajate kõne, mida esineb tihti 29% arvates ning harva 33% arvates. Arvutitest tulevat müra võib esineda peaaegu poolte vastanute arvates. Lisaks esineb tööd segavat müra sagedastest telefonihelinatetest, aknast tulevast mürast, muudest seadmetest ning samas ruumis mängivast raadiost.



Joonis 18. Peegelduste ja valgustitest tuleva räiguse hinnangute jaotus (n=199).

Uuritavast grupist töötab arvutiga üle 75% tööajast 118 töötajat, 50%-75% tööajast 54 töötajat ja alla 50% tööajast 27 töötajat. Sülearvutit kasutab alati või tihti 39 % uuritavatest. Kuvariekraani asendit, kalde- ja pöördenurka saab muuta 96% vastanutest ning kuvariekraan on enamiku vastanute arvates puhas. Kuvariekraani pilt ei värele 78% töötajate arvates ning peegeldusi ei esine poolte töötajate arvates mitte kunagi. Arvutiklaviatuur ja –hiir on 86% samal tasapinnal ning 96% vastanute arvates on neil piisavalt ruumi käte lauale toetamiseks. Oma arvutitöökohta hindas ergonomiliseks 77% vastanutest ning 75% arvates on töötoolil mugav istuda. Peaaegu kõigi töötajate jaoks on töötasapind piisava kõrgusega ning jalgadel on piisavalt ruumi töölauda all, olenemata sellest, et töötasapinna kõrgust ei saa ise reguleerida 93% vastanutest. Mööbli paigutus võimaldab vaba liikumist peaaegu 90% töötajatest.

Oma tervist hindas enamasti heaks 94% töötajatest. Viimase kuu terviseseisundi jaotused on toodud joonisel 19.



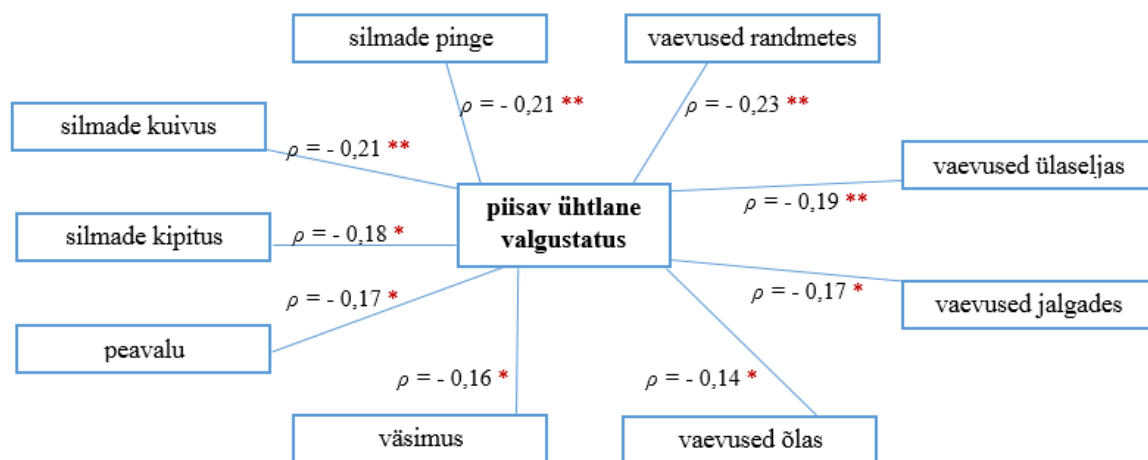
Joonis 19. Terviseseisundi hinnangute jaotus viimase kuu jooksul (n=199).

Silmade kipitust, kuivustunnet ning nägemise halvenemist esineb 1/3 töötajatest. Prille või kontaktläätsesid kannab 63% vastanutest, kellest 44% ei näe lähedale, 27% ei näe kaugemale ning 29% ei näe lähedale ega kaugemale. Kõige enam esineb töötajatel töö juures väsimust,

kuid ka käte ja näonaha kuivust. Üle pooltel töötajatel on esinenud ka näonaha kuivust ja õhetust. Peavalu esineb alati või tihti üle 20% vastanutest ning harva 45%.

Töötajatel on viimase kuu jooksul esinenud enim valusid kaelas (69%) ja alaseljas (68%). Rohkem kui pooltel (57%) töötajatel on esinenud valusid õlas/õlgades. Lisaks on valusid esinenud üle 40% töötajatest ülaseljas, põlvedes, randmetes ja jalgades. Enamik töötajaid saab käsi küünarliigeseni lauale toetada ning tänu sellele esineb küünarliigeses vaevusi kõige vähem. Kuvariga töötajatele põhjustavad tervisekaebusi valed töötasapinna kõrgused, ebapiisav ruum töölaual, ebapiisav valgustatus, töövahendite vale asetus või valed kaugused. Tervislik seisund mõjutab 55% arvates nende tööviljakust.

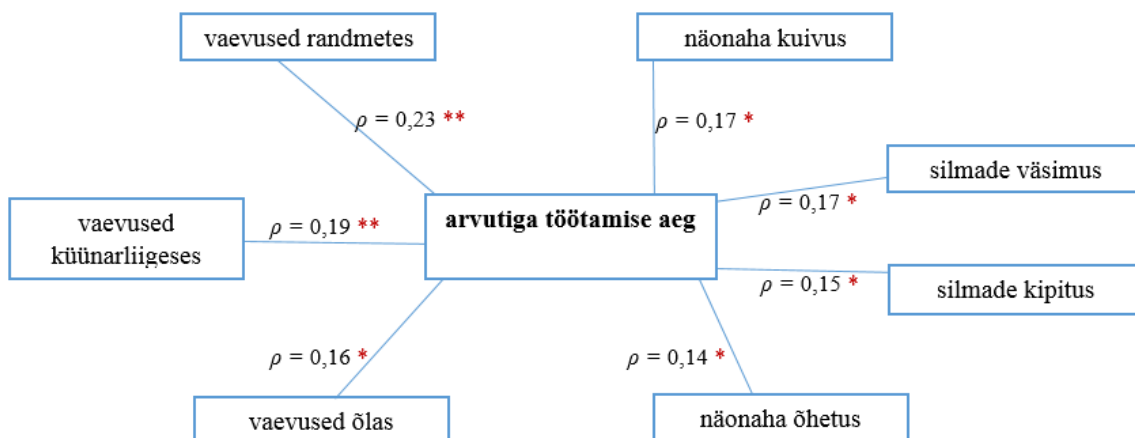
Spearmani korrelatsioonianalüüs näitas seoseid piisava ühtlase valgustuse ja terviseprobleemide vahel ning statistiliselt olulised seosed on esitatud joonisel 20. Korrelatsioonianalüüsi seosed on madalad, kui antud valimi (n=199) juures, siiski olulised.



Joonis 20. Spearmani korrelatsioonikordajad (ρ) seosed piisava ühtlase valgustuse ja terviseprobleemide vahel; * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$.

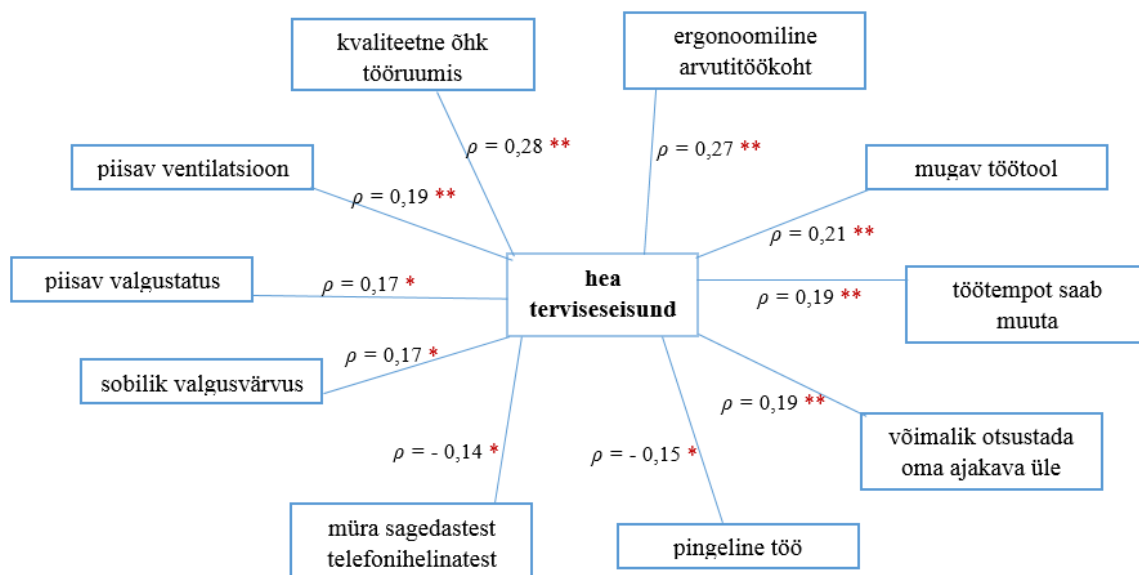
Spearmani korrelatsioonianalüüsist selgus, et piisava ühtlase valgustuse halvenemisel suureneb silmade pinge, kuivustunne ja kipitus, peavalu sageneb ning töötajad väsivad kiiremini. Valgustuse halvenemisel töötajate tööasendid muutuvad ebaergonoomiliseks ja selle tõttu suurenevad vaevused randmetes, ülaseljas, jalgades ning õlgades.

Samuti esinesid statistiliselt olulised seosed arvutiga töötatud töötundide ning tervisekaebuste vahel (joonis 21). Arvutiga töötamise aja suurenemisel suurenevad näonaha kuivus ja õhetus ning silmade väsimus ja kipitus. Arvuti kasutamise aja suurenemise tõttu esineb töötajatel rohkem vaevusi randmetes, küünarliigeses ja õlas.



Joonis 21. Arvutiga töötamise aja seosed töötajate tervisekaebustega, * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$.

Korrelatsioonianalüüsi seosed hea terviseseisundi ning terviseseisundit mõjutavate aspektide vahel on esitatud joonisel 22.



Joonis 22. Seosed töötajate hea terviseseisundi ja tööst ning töökeskkonnast tulenevate tegurite vahel, * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$.

Töötajate hea terviseseisund sõltub kvaliteetset õhust ruumis, sealjuures on oluline piisav ventilatsioon ja valgustus. Hea terviseseisund on olulises seoses ergonoomilise arvutitöökohaga, mugava töötooliga ja töötempo reguleerimise võimalustega. Terviseseisund halveneb juhul kui töö muutub pingelisemaks või müra töökeskkonnas suureneb.

Tervisekaebuste esinemine sõltuvalt töötajate individuaalsetest näitajatest - gruppide vaheline võrdlus

SPSS.24.0 andmetöötlusprogrammi abil tehti χ^2 -testi, et võrrelda demograafiliste näitajate alusel moodustatud gruppide vahelisi erinevusi. Kehamassiindeksi järgi gruppide võrdlusest selgus, et normaalkaalus töötajatel esineb rohkem näonaha kuivust ($p = 0,034$) ja käte kuivust ($p = 0,051$) kui ala- ja ülekaaluga ning rasvunud inimestel.

Gruppide võrdlusel soo järgi selgus, et naistel esineb meestest rohkem silmade kuivust ($p = 0,037$), nägemise halvenemist ($p = 0,028$), näonaha kuivust ($p << 0,001$), näonaha õhetust ($p = 0,054$) ning käte kuivust ($p \leq 0,001$). Meestest enam esineb naistel ka peavalu ($p = 0,001$). Tervise vaevuste suhtes on naised meestest tundlikumad ning neil esineb rohkem valusid ülaseljas ($p = 0,037$), õlas ($p = 0,029$) ning kaelas ($p = 0,002$). Mehed saavad oma töötempot naistest vähem muuta ($p = 0,003$). Loomuliku valguse olemasolu mõjutab rohkem naiste tulemuslikkust ($p = 0,008$). Töö nõuab naistel rohkem pidevat süvenemist, et asjad tehtud saaks ($p = 0,015$).

Gruppide võrdlemiseks nädalas töötatud töötundide alusel kasutati χ^2 -testi, millest selgus, et tavatööaja või väiksema tööaja korral esineb töötajatel rohkem näonaha õhetust ($p = 0,047$) kui ületunde tehes. Põhitööaja korral esineb rohkem vaevusi alaseljas ($p = 0,001$), põlves ($p = 0,039$) ning jalgades ($p = 0,001$). Vanematel töötajatel ehk üle 40-aastastel esineb rohkem näonaha kuivust ($p = 0,034$).

Töötajate **töövõime** hindamiseks kasutati WAI küsimustikku, kus võeti arvesse 199 töötaja vastused. Soovi korral võis uuritav töövõime küsimused vastamata jätta. WAI kategooriad, subjektiivselt hinnatud töö raskusaste ja viimase 12 kuu jooksul puudunud haiguspäevade arv (n, vastajate arv; %, vastajate osakaal) on toodud tabelis 7.

Tabel 7. Töövõime tulemused (n=199)

Muutujad	Kategooriad	n	%
1	2	3	4
WAI tulemused	Suurepärane	34	17
	Hea	96	48
	Keskmine	63	32
	Kehv	6	3
Töö iseloom	Füüsiliselt koormav	1	1
	Psüühiliselt koormav	166	83
	Psüühiliselt kui füüsiliselt koormav	32	16
Viimase 12 kuu jooksul haiguse tõttu puudunud tööpäevad	Mitte ühtegi	115	58
	Maksimaalselt üheksa	56	28
	10–24	26	13
	25–99	2	1
Arsti poolt diagnoositud terviseprobleemid või vigastused	Vigastus õnnetuse tagajärjel	57	29
	Luu- ja lihaskonna vaevused seljas, jäsemetes või teistes kehaosades	76	38
	Südame- ja veresoonekonna haigused	47	24
	Hingamisteede haigused	62	31
	Vaimsed häired (depressioon)	16	8
	Neuroloogilised või sensoorsed häired (kuulmis- või nägemislangus, migreen)	64	32
	Seedetrakti haigused (sapikivid, gastriit)	27	14
	Suguelundkonna haigused (eesnäärme põletik, infektsioon kuseteedes)	20	10
	Nahahaigused (allergiad, veresoonte laienemine)	46	23

Tabel 7. Töövõime tulemused järg

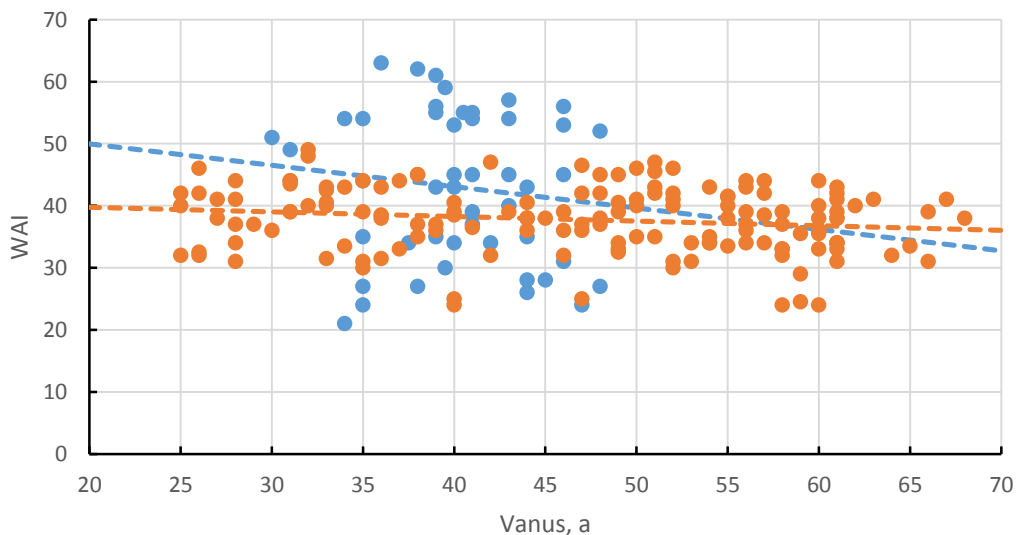
Arsti poolt diagnoositud terviseprobleemid või vigastused	Kasvaja või vähk	7	3
	Ainevahetushaigused (diabeet, tugev rasvumine)	8	4
	Verehaigused (aneemia ehk kehvveresus)	10	5
	Sünnidefekt	2	1
	Muud häired ja haigused	22	11

Töötajate keskmiseks töövõimeks saadi 38 ± 5 . Töövõime kõrgemaks tulemuseks oli 49 (suurepärane) ning madalaimaks tulemuseks oli 24 (kehv). Kehva töövõimega töötajaid oli 6%. Töö on 83% töötajate arvates psüühiliselt koormav. Üle poolte (58%) vastanutest pole viimase 12 kuu jooksul haiguse tõttu töölt puudunud mitte ühtegi päeva. Arsti poolt on töötajatele enim diagnoositud luu- ja lihaskonna vaevused seljas, jäsemetes või teistes kehaosades. Neuroloogilisi ja sensoorseid häireid on diagnoositud 32% vastanutest ning hingamisteede haigusi 31% vastanutest. Töövõime tulemused vanusegruppide järgi on esitatud tabelis 9.

Tabel 9. WAI-kategooriate tulemused ning tulemused vanusegruppide järgi (n, vastajate arv; %, vastajate osakaal)

WAI-kategooriad	Vastanute arv n (%)					
	20–29 aastat	30–39 aastat	40–49 aastat	50–59 aastat	60–69 aastat	kokku
Suurepärane (44–49 punkti)	7 (3)	11 (6)	6 (3)	9 (4)	1 (1)	34 (17)
Hea (37–43 punkti)	9 (4)	22 (11)	22 (11)	28 (14)	15 (8)	96 (48)
Keskmine (28–36 punkti)	8 (4)	10 (5)	11 (6)	21 (10)	13 (7)	63 (32)
Kehv (2–27 punkti)	-	-	3 (1)	2 (1)	1 (1)	6 (3)

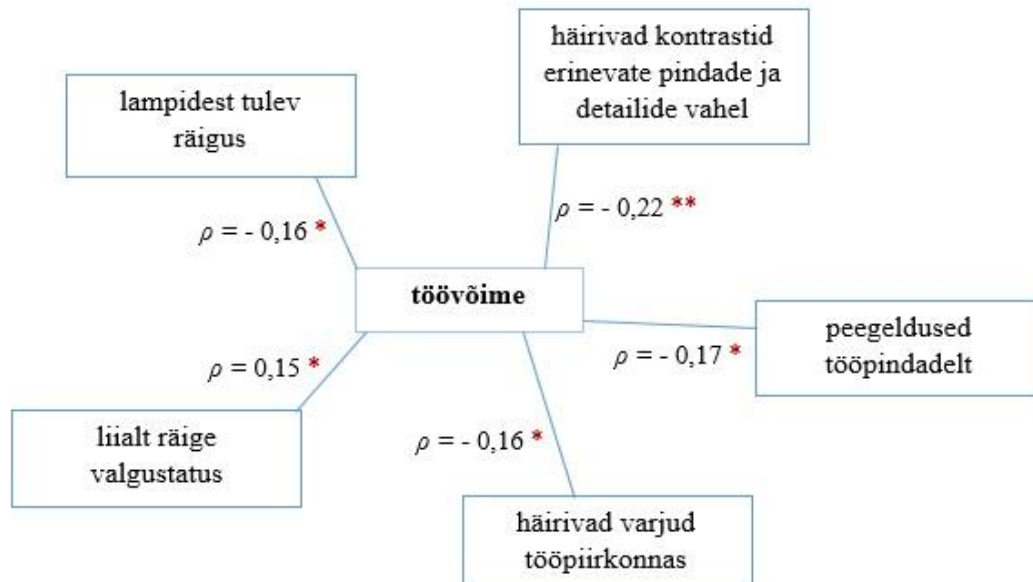
WAI tulemustest selgus, et halba töövõimet ei esine ühelgi töötajal vanuses 20-39 aastat.



Joonis 23. Vanuse ja töövõime indeksi vaheline seos.

Töötajate vanuse suurenemisel töövõime väheneb, kuid statistiliselt olulised seosed on nõrgad. Töötajate töövõime halveneb, kui lampidest tulev rägus suureneb, tööpiirkonnas esineb häirivaid varje või esineb peegeldusi tööpindadelt.

Spearmani korrelatsioonianalüüs näitas seoseid töövõime, peegelduste ja lampidest tuleva räguse vahel ning statistiliselt olulised seosed on esitatud joonisel 24.



Joonis 24. Seosed töötajate töövõime ning lampidest tuleva räguse ja peegelduste vahel, * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$.

Spearmani korrelatsioonanalüüs näitas, et töötajate töövõime halveneb, kui häirivaid kontraste erinevate pindade ja detailide vahel esineb rohkem. Lisaks vähendab töötajate töövõimet lampidest tulev rägus, peegeldused tööpindadelt, liialt räige valgustatus ning häirivate varjude esinemine tööpiirkonnas. Halvema töövõimega töötajaid häirib rohkem läbi akna tulev soojus ($\rho = -0,19$) ning töökoha valgustatus mõjutab rohkem töötulemuslikkust ($\rho = -0,19$). Valgusallikate valgusvärvus mõjutab värvuse tajumist rohkem halvema töövõimega töötajatel ($\rho = -0,20$).

5. TEHISVALGUSTUSE MÕÕTMISE TULEMUSED

5.1. Asutuste valgustuslahendused

Valgusti filtreerib, jaotab või muundab lambi või lampide valgust. Valgusti sisaldab kõiki osi, mis on vajalikud lampide kaitseks ja kinnitamiseks, peale lampide. Valgusti koosneb seega armatuurist ning ühest või mitmest lambist. Valgusti ülesandeks on suunata lambi poolt toodetav valgus vajalikku piirkonda, seda inimsilma liigse heleduse eest kaitstes ning lampi mehaaniliste vigastuste eest kaitstes. Valgustid jagunevad lakke süvistatavateks, seinale, pinnale, lattliinile, rippasendisse vms. paigaldatavaks (Tamm, 2016).

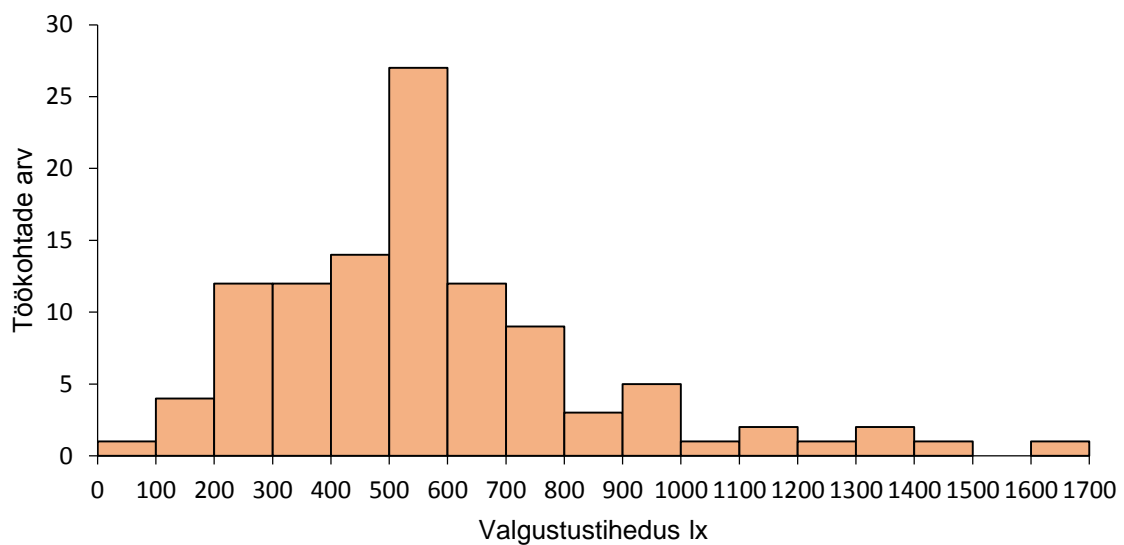
Bürooruumides ja haridushoonetes olid kasutusel väga erineva ehitusega valgustid, mis on esitatud joonisel 25.



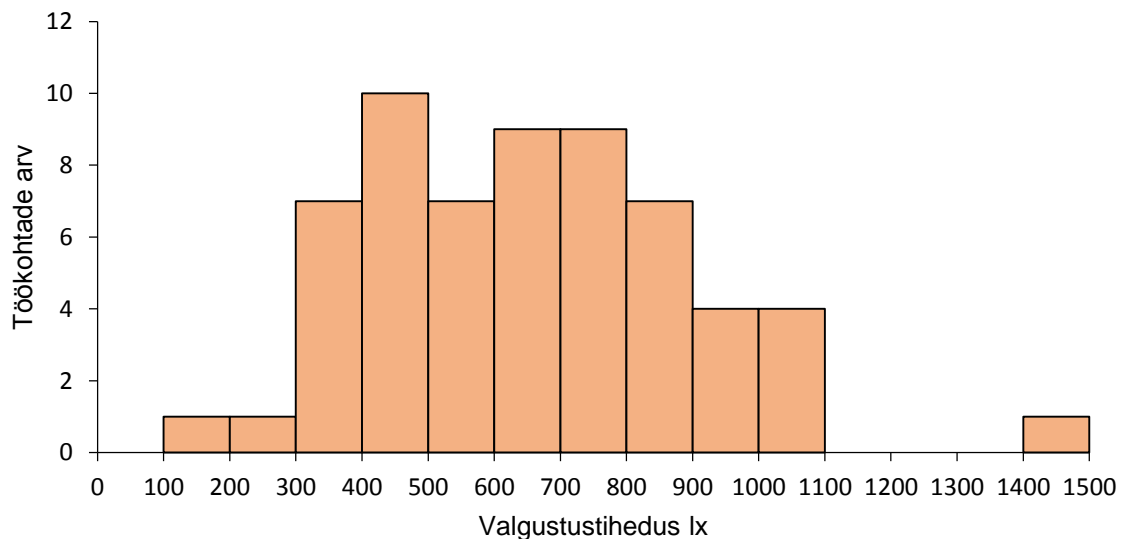
Joonis 25. Bürooruumides ja haridushoonetes kasutusel olevad valgustid: 1–4 laepinnale paigaldatavad valgustid; 5–6 lakke süvistatavad valgustid; 7–8 rippvalgustid. Kõige rohkem olid haridushoonetes ja bürooruumides levinud lakke süvistatavad valgustid. Bürooruumides oli kasutusel rohkem erineva lahendusega valgusteid nagu näiteks laepindadele paigaldatavad valgustid, rippvalgustid ning seinavalgustid.

5.2. Valgustustihedus, värvsüsteemtemperatuur ja värviesituse üldindeks

Bürooruumides sooritati valgustiheduse mõõtmisi kuues asutuses 107-lt töökohal. Valgustustiheduse keskmine väärtus jäi 43-l (40%) töökohal alla piirnormati (joonis 26), milleks on kuvari kasutamise korral 500 lx. Valgustustiheduse keskmiseks väärtuseks (\pm SD) oli bürooruumide töökohtadelt kokku 572 ± 290 .

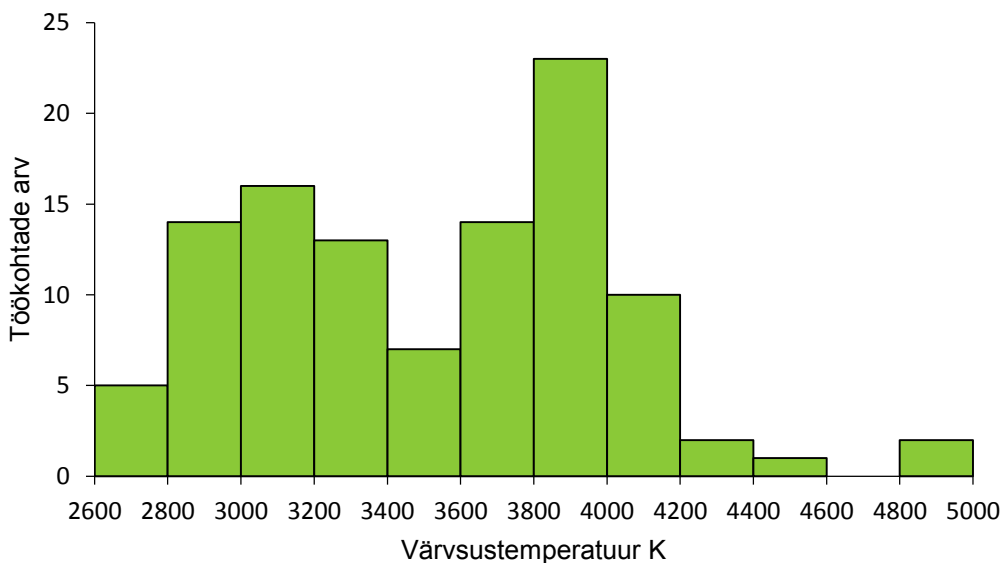


Joonis 26. Valgustustiheduse mõõtmistulemused bürooruumides.



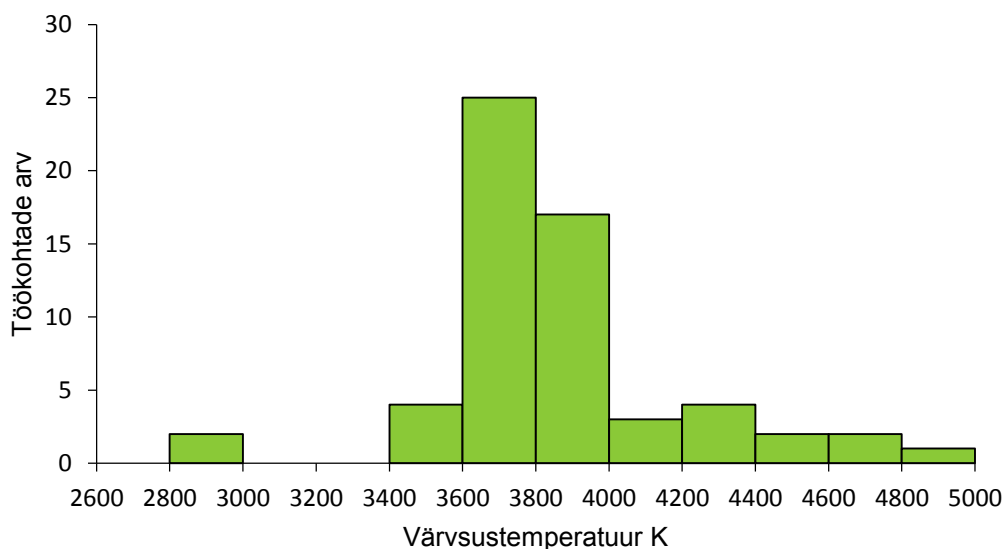
Joonis 27. Valgustustiheduse mõõtmistulemused haridushoonetes.

Valgustustiheduse mõõtmisi sooritati neljas haridushoones 60-lt töökohalt. Valgustustiheduse keskmine väärtus jäi alla kuvariga töötamise piirnormi 19-l (32%) töökohal. Valgustustiheduse keskmiseks väärtuseks (\pm SD) oli haridushoonete töökohtadelt kokku 572 ± 290 .



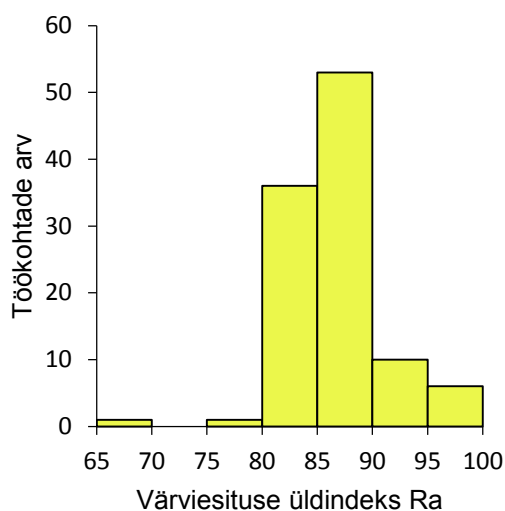
Joonis 28. Värvsustemperatuuri tulemused bürooruumi töökohtadelt.

Büroorumide mõõtmistulemustest selgus (joonis 28), et 42 töökohal on kasutusel sooja värvitooniga valgustid ning 65 töökohal on kasutusel neutraalse värvitooniga valgustid. Büroorumides pole ühelgi töökohal kasutatud külma värvitooniga valgusteid.

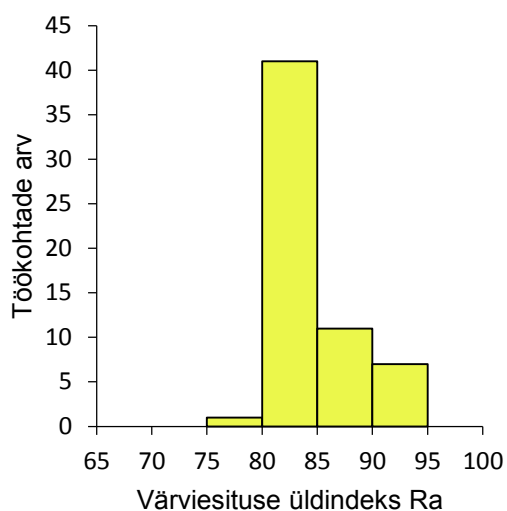


Joonis 29. Värvsustemperatuuri tulemused haridushoonete töökohtadelt.

Haridushoonetes on sooja värvitooniga valgusteid kasutatud kahel töökojal (joonis 29) ning neutraalse värvitooniga valgusteid 58-l töökojal. Külma värvitooniga valgusteid haridushoonetes kasutusel ei ole.



Joonis 30. Töökohtade värviesituse üldindeks bürooruumides.

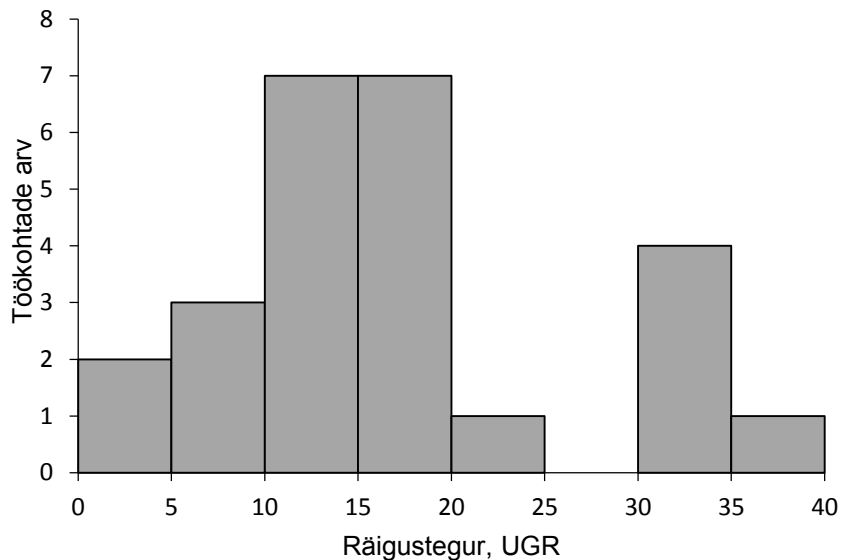


Joonis 31. Töökohtade värviesituse üldindeks haridushoonetes.

Büroodes ja haridushoonetes on värviesituse üldindeksi normiks 80. Värviesituse üldindeks jäi büroodes alla kehtestatud piinormi kahel töökojal ning vastas piinormile 105-l töökojal (joonis 30). Värviesituse üldindeksi suurim võimalik väärtus on 100, mida esines büroodes kuues töökojal. Värviesituse üldindeks jäi haridushoonetes normist madalamale tasemele ühel töökojal. Normile vastavat värviesituse üldindeksit esines haridushoonetes 59-l töökojal (joonis 31), kuid ühelgi töökojal ei esinenud värviesituse indeksi suurimat võimalikku väärtust.

5.3. Diskomforträäguse mõõtmistulemused

Sisevalgustuspaigaldiste poolt töötaja silma jõudvat ning häirivat heledust mõõdeti töökohtadel, kus mõõtja esmase vaatluse põhjal pidas rääguse esinemist võimalikuks.



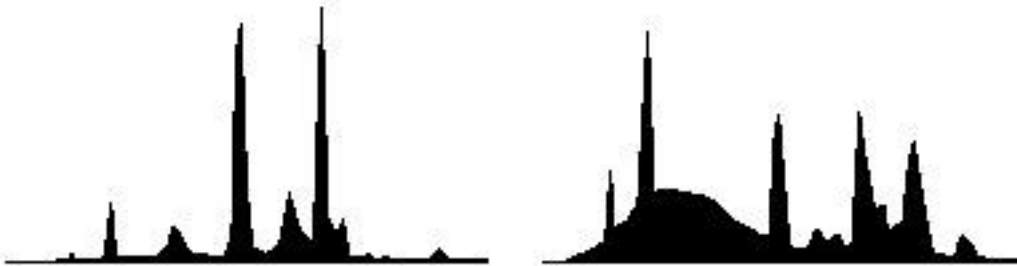
Joonis 32. Arvutuslikud diskomforträäguse tulemused mõõdetud töökohtadel.

Bürooruumide ja haridushoonete valgustuspaigaldistes ei tohi UGR teguri väärtus olla suurem kui 19. Büroohoonetes mõõdeti diskomforträägust 20-lt töökohalt ja haridushoonetes 5-lt töökohalt. Mõõdetud 25-st töökohast esines diskomforträägust 13 (52%) töökohal, millest 12 olid bürooruumid ja üks oli haridushoone (joonis 34). Keskmine UGR väärtus (\pm SD) oli haridushoonetes 13 ± 7 ning bürooruumides 18 ± 10 . Kõikides mõõdetud ruumides oli keskmiseks UGR väärtuseks (\pm SD) 17 ± 9 .

Mõõtmistulemuste põhjal võib järeldada, et töökohtade valgustuslahendused tuleb ümber projekteerida, kui muudetakse tööruumis töölaudade asukohti. Enamus mõõtmiste korral on töölaua ja valgusti ebasobiva paiknemise tulemusena valgustus töökohal standardis kehtestatud normidele mittevastav. Valgustuslahenduste ebasobivate asukohtade tõttu tekib ülemäärane diskomforträägus, mis põhjustab töötajatele ebamugavust ja vähendab tööviljakust.

6. LAMPIDE VALIK JA VALGUSTITE PAIGUTUS

Lambi valik sõltub eeskätt selle spektrist. Viimase kirjeldamiseks kasutatakse peamiselt kahte iseloomustavat suurust: lähim värvsüsteemtemperatuur ja värviesitusindeks. Mõnikord rõhutatakse spektri kirjeldamisel ka seda, et lambi spekter ei ole mitte riba- vaid täisspekter (joonis 33).



Joonis 33. Ribaspektriga luminofoorvalgusti (vasakul) ja 'täisspektriga' luminofoorvalgusti (paremal) spektrite olemuse erinevus.

Täisspektriga valgustitele omistatakse, evolutsioonist lähtuvale hüpoteesile tuginedes, mitmeid positiivseid omadusi. Arutluskäik on lühidalt järgmine, täisspekteriga tehisvalgus sarnaneb ribaspektriga tehisvalgusest oluliselt enam päikesevalgusega. Kuna tehisvalgustus on võrreldes päikesevalgusega üsna hiljutine nähtus, siis on inimese nägemiselund ja psühholoogia kujunenud just kooskõlas päikesevalgusega. Veitch ja McColl uurisid teaduskirjandust eesmärgiga nn evolutsioonilise hüpoteesi kinnitamiseks või ümberlukkamiseks. Vaadeldi füsioloogiat ja tervist puudutavaid nähtusi (McColl & Veitch, 2001): D-vitamiini süntees, nahavähi teke, valgustundlikkus, laste areng, immuunsus, peavalude esinemine, simulatsioon ja stress, hormoonide süntees, füüsiline aktiivsus, depressioon, söömishäired ning kognitiivne võimekus (Veitch & McColl, 2001). Kokkuvõtvalt jõuti järeldusele, et täisspektriga luminofoorvalgustitele omistatud positiivne mõju puudub või ei ole nii suur kui kiputakse väitma.

Rahvusvahelise Valgustuskomisjoni (CIE) värviesitusindeks (CRI) koosneb 14 üksikvärvuse põhisest indeksist ($R_1 - R_{14}$) ja värviesituse üldindeksist R_a , viimane on keskmine indeksitest $R_1 - R_8$. Oluline on mõista, et värviesitusindeks võrdleb 14 värvuse kontekstis vaadeldava lambi spektrit sama värvsüsteemtemperatuuriga võrdlusvalgusallika spektriga. Kui vaadeldava lambi lähim värvsüsteemtemperatuur (T_{CP}) on väiksem kui 5000 K on võrdlusvalgusallikaks mustkiirgur, $T_{CP} \geq 5000$ K korral päikesevalgus. Protseduuri nõrkuseks on asjaolu, et võrdlusvalgusallikate spektrid muutuvad värvsüsteemtemperatuuri muutumisel ja seetõttu ei ole eri värvsüsteemtemperatuuriga valgusallikate värviesitusindeksid omavahel võrreldavad. Värviesituse üldindeks, kaheksa värvipõhise indeksi aritmeetilise keskmisena, ei pruugi olla piisavalt tundlik üksikute, sisekujunduse seisukohast oluliste värvuste esitamise suhtes. Ehk $R_a < 100$ korral ei ole ühe tootja lambi asendamisel, teise tootja samaväärse R_a väärtusega lambiga, tagatud sisekujunduse terviklikkuse seisukohast oluline värvuste taasesitus. Samas erinevusi $R_a < \pm 5$ (CIE, 1995) ei ole inimene võimeline eristama. Värviesituse üldindeks ei kajasta ka inimeste jaoks oluliste pindade nagu nende nahk või taimestiku roheline värviesitust. Viimaste jaoks on küll indeksid R_9-R_{14} , aga need andmed ei ole alati kättesaadavad või ei pöörata neile tähelepanu.

Houser et al (2016) loetleb kuus enamlevinud värviesitusindeksiga seotud väärarusaama:

- 1) CIE värviesitusindeks R_a on arv, mille väärtus 100 või vähem, kuid tegemist ei ole suhtarvu ehk protsendiga. Skaala vähimaks väärtuseks ei ole mitte 0 vaid $-\infty$. $R_a = 60$ tähendab, et värvuste nihe on keskmiselt neli korda suurem kui $R_a = 90$ korral.

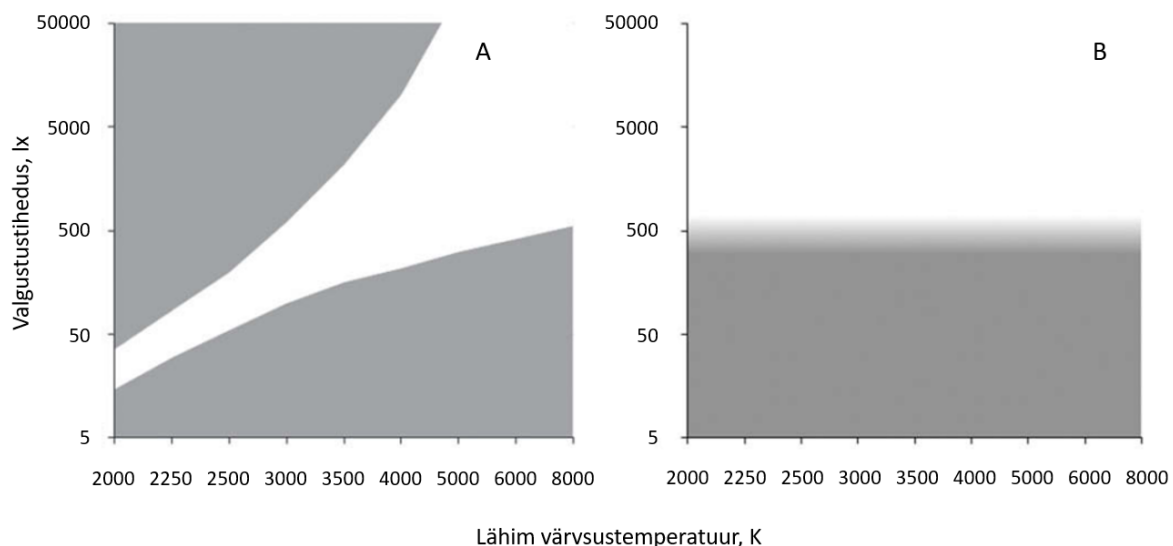
- 2) Värvusi ei pruugita tajuda samamoodi kui valgusallikate $R_a < 100$.
- 3) Sama R_a -ga lambid võivad põhjustada väga erinevaid värvuste nihkeid.
- 4) Inimesed ei kohane ega harju kehva värviesitusega.
- 5) Värviesitust ei saa hinnata, vaadates valgusallikat või mitteselektiivse neelduvusega pindasid (valged ja hallid pinnad).
- 6) Värviesitus ja lambi värvus on erinevad asjad, pakendis oleva lambi värvus ei anna rakendatavat informatsiooni.

Kuigi akromaatiliste nägemisülesannete korral pole valgusti valikul valgusviljakuse ja R_a lõivsuhte tõttu põhjust värviesituse indeksit valgusviljakusele eelistada, leiavad mõned autorid siiski, et suurema CRI korral on valgustustiheduste eelistused madalamal ning standardi miinimumnõue $R_a \geq 80$ ei tähenda kindlasti seda, et tingimata peaks valima lambi, mille $R_a=80$. Värviesitusindeksi $R_a=100$ vähendamine $R_a=80$ -le mõjub inimesele väidetavalt võrdväärseks valgustustiheduse vähendamisega tasemelt 1000 lx tasemele 400 lx (Papamichael et al 2015). Suurema R_a väärtuse eelistamist toetab ka Wei et al (2015), kes leidsid, et suurema R_a väärtuste korral peavad inimesed oma naha ja hammaste tooni atraktiivsemaks.

Enamik lampe võimaldavad ühte fikseeritud värvsustemperatuuri, samas kui loomulikule valgusele on iseloomulik värvsustemperatuuri muutumine piirides 3000-30 000 K (Thorington, 1985) ilmastiku, kellaaja ja aastaaja tõttu. Evolutsioonilise sobivuse hüpoteesist lähtuvalt peaks parima tulemuse saavutamiseks korrigeerima päeva jooksul ka tehisvalgustuse värvsustemperatuuri. Inimese (tsirkaadrütmi) vajadustest lähtuva valgustuslahenduse loomiseks võib kasutada näiteks tsirkaadrütmi stimulatsiooni (*circadian stimulus*) nimelist arvutusmudelit (Figueiro et al 2016; Rea & Figueiro, 2016). Nii tsirkaadrütmi stimulatsiooni mudel kui ka varasemad teadusuuringud (Scheer & Buijs, 1999; Ruge et al, 2006) toetavad hommikust kokkupuudet kõrgema värvsustemperatuuri ja suurema valgustustihedusega. Üldpõhimõttelt tsirkaadrütmi stimulatsioonile sarnaste lahenduste katsetamine Hollandis on seni näidanud, et need lahendused võivad aidata kaasa õppeedukusele algkoolis, kuid põhikoolis mõju puudub (Slegers et al 2013). Töökeskonnas suurendas muutuva värvsustemperatuuri ja valgustustihedusega valgustuslahendus töötajate rahulolu, kuid mõju töösooritusele ei täheldatud (de Kort & Smolders, 2010).

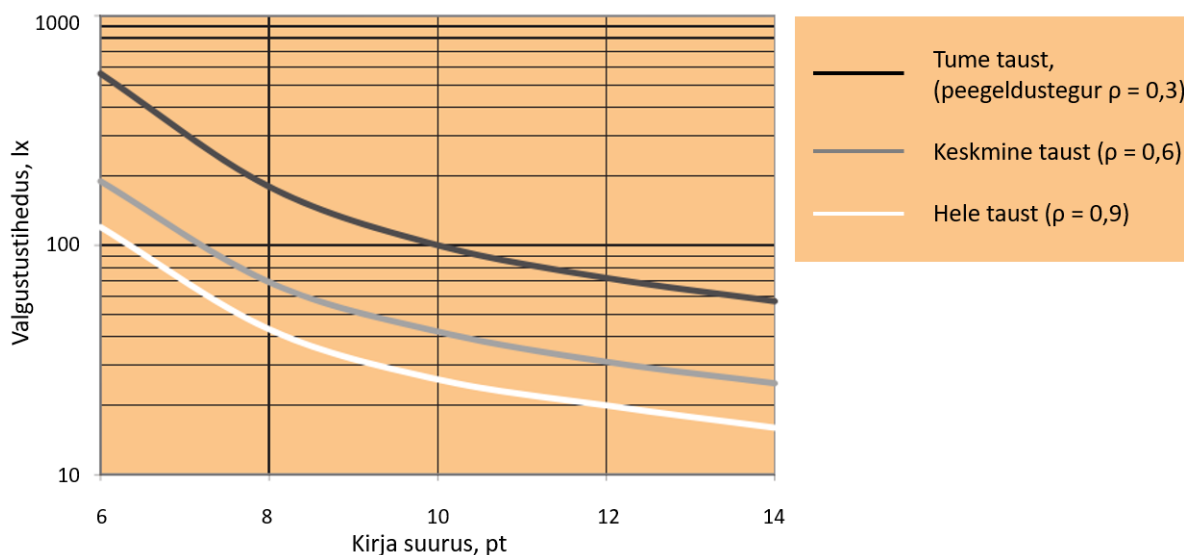
Kui värvsustemperatuuri muutmist võimaldava dünaamilise valgustuslahenduse kasutamine ei ole võimalik, siis fikseeritud värvsustemperatuuridest on eelistatumad pigem kõrgema värvsustemperatuuriga lambid. Kõrgema värvsustemperatuuriga lambid sisaldavad rohkem valguse sinist spektriosa, millel on pupille ahendav mõju. Berman et al, (2006) soovib värvsustemperatuuriga 3600 K ja 5500 K lampide võrdluses eelistada 5500 K lampe just väikse pupilliläbimõõduga kaasnenud suurema nägemisteravuse tõttu.

Mõnikord soovitakse lambi värvsustemperatuuri valikul lähtuda taotletavatest valgustustihedustest. Väidetakse seejuures, et teatud värvsustemperatuuri ja valgustustiheduste kombinatsioonid mõjuvad ebaseeldiva või ebaloomulikuna (joonis 34-A). Sellist Kruithofi diagrammil (Kruithof, 1941) põhinevat lähenemist kritiseeritakse aga puuduliku katsekorralduse kirjelduse tõttu ja peale diagrammi autori ei ole praktiliselt kellelgi õnnestunud selliseid tulemusi taas korrata (Kakitsuba, 2016; Fotios, 2017). Enamasti ollakse ühel nõul, et alal 300 lx tunduvad ruumid hämarana sõltumata värvsustemperatuurist (joonis 34-B). Kakitsuba (2016) leidis, füsioloogilistele mõõtmistele põhinedes, et värvsustemperatuurist sõltumata on inimesele sobiva valgustustiheduse ülemine piir ~2000 lx juures.



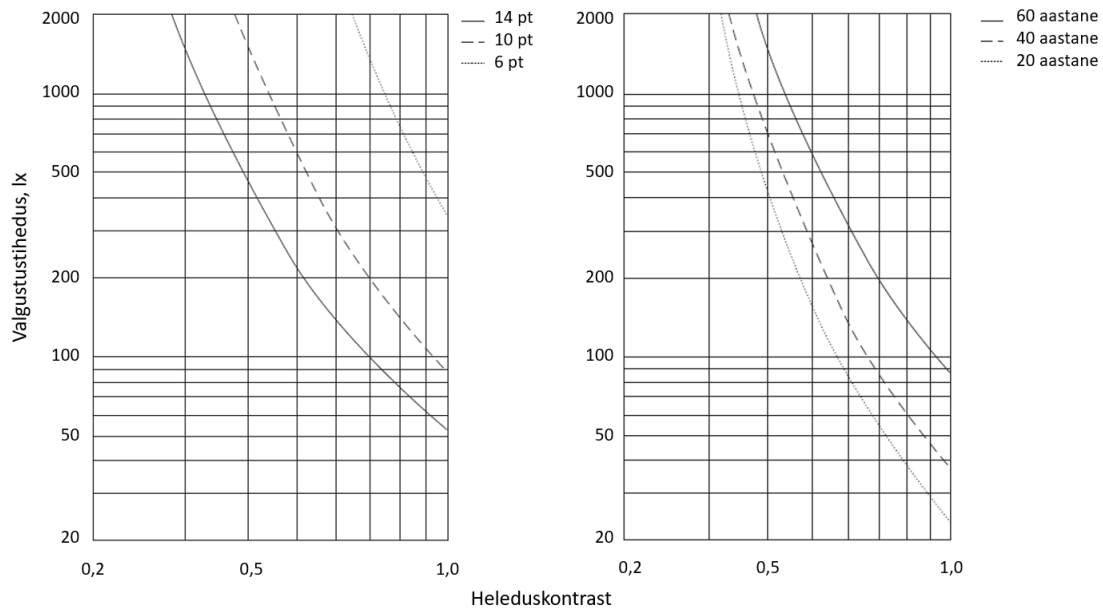
Joonis 34. Soovitatav valgustustihedus sõltuvalt värvsüsteemist; a – Originaal Kruithofi diagramm (Kruithof, 1941); b – uuendatud „Kruithofi diagramm“ (Fotios, 2017).

Valgustite paigutamisel on peamine küsimus kuidas tagada nägemisülesande jaoks vajalikku valgustustihedust ja nägemismugavust. Joonistelt 35 ja 36 näha, et nägemisülesande jaoks vajalik valgustustihedus sõltub väga suurel määral stiimuli suurusest, nägemisülesande heleduskontrastist ja inimese vanusest. Samas ilmneb, et kvaliteetse trükimaterjali korral on standardis EVS-EN 12464-1:2011 soovitatud väärtused nägemisülesande täitmise seisukohalt piisava varuga, et rahuldada võimalikult eripalgelist kasutajaskonda.

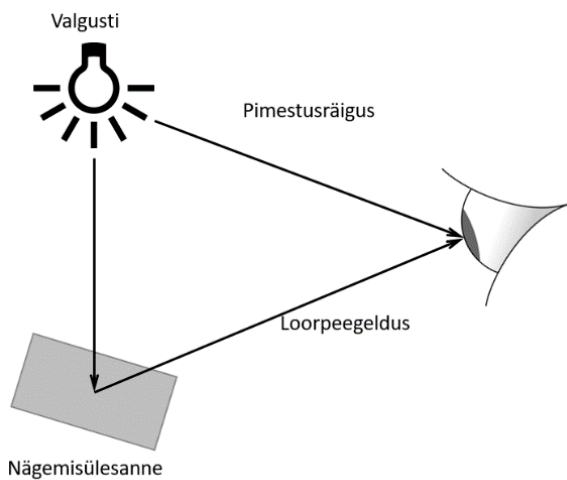


Joonis 35. Suhtelise nägemisvõime (joonis 10) $RVP=0,98$ saavutamiseks vajalik lugemisülesande valgustustihedus sõltuvalt kirja suurusest ja paberist (taust). Lugeja on normaalse nägemisteravusega ja 25 aasta vanune, musta trükikirja loetakse 350 mm kauguselt (Cuttle, 2013).

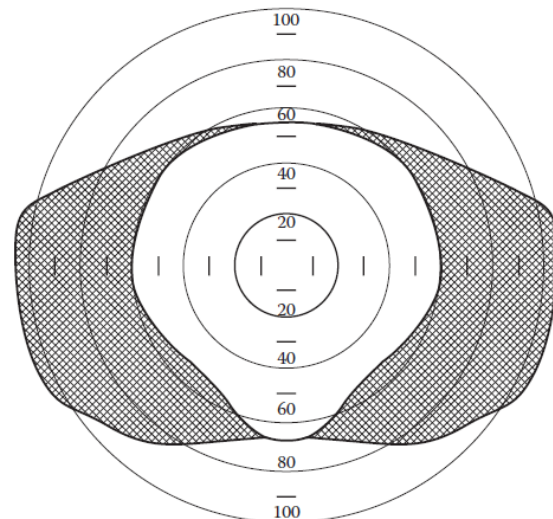
On kaks võimalust, kuidas ruumi valgusjaotus võib töösooritust (joonis 3, lk 8) mõjutada. Esiteks, erinevad valguse jaotused võivad muuta nägemisülesande valgustustihedust, tekitada varje, pimestusräigust või loorpeegeldust (vt joonis 37) ja seega mõjutada otseselt nägemisvõimet ja nägemismugavust. Teiseks, valguse jaotus muudab ruumi tajumist (tabel 10), mis võib kaudselt mõjutada inimese tuju ja seetõttu ka motivatsiooni.



Joonis 36. Suhtelise nägemisvõime (joonis 10) $RVP=0,98$ saavutamiseks vajalik lugemisülesande valgustustihedus; vasakul 60 aasta vanusele inimesele vajalik valgustustihedus sõltuvalt kirja suuruselt ja kontrastist; parema 10 pt suuruse kirja lugemiseks vajalik valgustustihedus sõltuvalt heleduskontrastist ja inimese vanusest (Cuttle, 2008).



Joonis 37. Pimestusräiguse ja loorpeegelduste mõistete selgitus.



Joonis 38. Inimese vägemisväli kraadides fookuspunkti suhtes, viirutatud ala on nähtav vaid ühe silmaga (Boff & Lincoln, 1988)

Nii pimesust- kui ka diskomforträägust saab ennetada kui paigutada valgustid väljaspoole inimese nägemisvälja (joonis 38). Räägusarvutust on võimalik teha ka valgusarvutuste programmiga DIALux. Diskomfort räägust võidakse täheldada ka otse peakohal asuvatest, üledimensioneeritud valgustitest. Sel juhul võib olla häiriv ka silmade lähedal olevate pindade: kulmude, nina, põsesarnade või prillide liigne heledus. Häirivaks muutub olukord siis kui pea liigutamisel satub nägemisvälja tunduvalt suurema heledusega pind, mis viib tähelepanu kõrvale. Cuttle (2008) järgi kujutab peakohal paiknev valgusti ohtu tähelepanule kui ületatakse $16,500 \text{ cd/m}^2$.

Enamasti paigutatakse valgustid korrapärase massiivi või reana. Massiivina paigutatud otsevalgustite (valgustatavale pinnale suunatakse ≥ 90 % valgusvoost) korral sõltub ruumi ilme valgusti valgusjaotuskõverast ja valgustite vahekaugusest. Mida kitsam on valgusti valgusjaotuskõver, seda lähemal peavad valgustid üksteisele olema. Selline valgustite paigutus valgustab eelkõige horisontaalpindu, kuid vertikaalpindadele (seinad) jõuab valgust vähe. Lae valgustamine toimub sellisel juhul ainult ruumi teiste pindade peegelduste kaudu. Selline lahendus võib jätta kontorist sünge mulje. Suure tõenäosusega võivad esineda ebamugavad varjud ja loorpeegeldused.

Kaudvalgustite (valgustatavale pinnale langeb otse < 10 % valgusvoost) korral muutub laepind suureks, väikse heledusega valgusallikaks. Peegeldunud kujutiste vältimiseks peavad laepinnad võimaldama valguse hajusat peegeldumist. Hajus valgus tagab nii horisontaal kui vertikaalpindade valgustatuse, kuna valgusel puudub konkreetne suund on varjude ja loorpeegelduste tekkimine vähetõenäoline. Sellise valgustuslahendusega ei kaasne küll kaebusi nägemismugavuse seisukohast, kuid selle mulje on sageli tuim ja võib jätta ruumis olevad inimesed ükskõikseks.

Hajusvalgustusti (valgustatavale pinnale langeb otse 40–60 % valgusvoost) ühendab otse ja kaudvalgusti tugevad küljed. Kaudvalgus valgustab seinu ning vähendab varjude ja loorpeegelduste tekkimise tõenäosust. Otsevalgus joonistab välja reljeefid ning vähendab kaudvalguse ühtlusega kaasnevat tülpinud muljet. Hajusvalgustust ei tohiks kindlasti kasutada ruumides, kus tehakse käsitööd näiteks kodunduse või tööõpetuse klassides. Nendes ruumides on inimeste liikumine reeglina vabam ja otsevalgusega kaasnev suurem kontrast vajalik.

Tabel 10. Rahulolu valgustamise viisidega (Boyce et al. 2006b)

Väide	Valgustite paigaldusviis		
	Süvistatud otsevalgustite korrapärane massiiv	Rippes hajuvalgustite korrapärased read	Individuaalse juhtimisega valgustid tööpinna kohal
Üldiselt on valgustus mugav	71	85	91
Valgus on minu tööülesande jaoks liiga ere	33	21	11
Valgus on minu tööülesande jaoks liiga hämar	4	8	13
Valguse jaotus on halb	16	18	15
Valgustus tekitab varje	12	10	7
Peegeldused takistavad töötamist	29	17	21
Valgustuspaigaldis on liiga ere	38	20	19
Valgustustingimused muudavad mu nahatooni ebaloomulikuks	22	13	30
Valgus väreleb terve päeva	4	0	2

Arvestades inimeste teadmiste erisuste ja eelistuste paljususega on valgustuspaigaldisega rahulolu tagamiseks vajalik valgustustingimuste reguleerimise võimalus. Kõige lihtsam on seda teha kohtvalgusti lisamisega, aga on ka lahendeid, kus hajusvalgusti kaudvalguse komponent on fikseeritud tasemel ja töötaja saab muuta töötamiskohale lähima valgusti otsevalguse komponenti.

JÄRELDUSED JA SOOVITUSED

Tehisvalgustuse mõju töötajatele (büroo- ja koolihoonete ruumide näitel)

On teada, et puudulikult valgustatud ruumis on töö tegemine füüsiliselt ja psüühiliselt väsitav. Tööruumi valgustuse parendamisel suureneb silma kontrastitundlikkus, nägemisteravus, tajumiskiirus ja nägemise stabiilsus. Tänu sellele suureneb inimese töövõime ja säilitame tema tööviljakuse.

Valgustustiheduse suurendamisel võiks eeldada tööviljakuse tõusu ja vigade vähenemist, kuid kontoritöökeskkonna tingimustes see alati ei toimi. Tööviljakuse tõuks tuleb suurendada jõudlust või hoida kokku elektrienergiat.

Töötajate küsitlusest selgus, et:

1. Büroo- ja kooliruumide tehisvalgustus on enamasti vastajate hinnangul piisav, kuid töökoha valgustust ei saa reguleerida. Enamasti töötajate tööruumides on olemas aknad ja valgust reguleerivad katted. Kuid sellest hoolimata tuleb 2/3 vastajate hinnangul akendest aegajalt pimestavat otsest päikesekiirgust.
2. Töökoha valgustatus mõjutab 1/3 töötajate hinnangul töötulemuslikkust. Valgustite räguse suurenedes ja häirivate varjude ning peegelduste korral töötajate töövõime halveneb. Kolmandikul esineb silmade kipitust, kuivust ning nägemise halvenemist. Üle poolte töötajate kannab prille või kontaktläätsesid. Töötajatel esineb enim valusid kaelas ja alaseljas. Siiski hindab enamik uuritavatest oma tervist heaks. Piisava ühtlase valgustuse korral esineb vähem terviseprobleeme.
3. Bürootöötajate töö on enamiku töötajate arvates psüühiliselt koormav. Siiski pole üle poolte vastanutest viimase 12 kuu jooksul haiguse tõttu töölt puudunud. Pääaegu pooled töötajad said töövõimeindeksi tulemuseks „hea“. Arsti poolt on töötajatele enim diagnoositud luu- ja lihaskonna vaevusi seljas, jäsemetes või teistes kehaosades, kolmandikule neuroloogilisi ja sensoorseid häireid ning hingamisteede haigusi.

Tööruumide valgustatuse mõõtmistulemustest võib järeldada, et:

1. Nii bürooruumides kui haridushoonetes on piisava valgustustiheduse tagamisega töökohal probleeme. 40% bürooruumide ja 32% haridushoonetes jäi valgustustihedus kuvariga töökohale kehtestatud piirnormist madalamaks.
2. Haridushoonetes on neutraalse värvitooniga valgusteid 61% töökohtadel, sooja värvitooniga valgusteid kasutusel 39% töökohtadel. Enamikus bürooruumides on neutraalse värvitooniga valgustid ja sooja värvitooniga valgustid vaid 3% töökohtadel. Külma värvitooniga valgusteid ei ole kasutusel üheski mõõdetud büroo- ega haridushoonetes.
3. Värviesituse üldindeks jäi alla piirnormi vaid bürooruumi kahel töökohal ning haridushoonetes ühel töökohal. Värviesituse üldindeksi suurimat võimalikku väärtust esines bürooruumides kuuel töökohal.
4. Valgustite heleduse mõõtmistest töökohtadel selgus, et diskomforträägust esines 13 töökohal (52% mõõdetud töökohtadest).

Uuringu tulemused kinnitavad hüpoteesi, et ruumi tehisvalgustus ei vasta alati standardis kehtestatud normidele. Enamasti on haridus- ja bürooruumid projekteeritud piisava loomuliku valguse juurdepääsuga.

Tehisvalgustuse mõju töötajate psühhilisele võimekusele tööajal

Valgus on üks tähtsamatest parameetritest töökeskkonnas, kuna nägemise kaudu saab inimene ca 90% informatsioonist. Valgustustingimused mõjutavad töötaja psühhilist võimekust otseselt ja kaudselt. Otsene mõju on seotud töötaja nägemisvõime ja nägemismugavusega. Kaudne mõju tuleneb tsirkaad- ehk ööpäevarütmist. Psühhilist võimekust tõstab loomuliku valguse olemasolu tööruumis ja hea töötajapõhine valgustuse reguleeritavus.

Töötajate küsitlusest selgus, et:

1. Töö nõuab enamik töötajatelt pidevat süvenemist: ligi 80% vastanutest hindab oma tööd alati või sageli pingeliseks. Tervislik seisund mõjutab 55% arvates töötajate tööviljakust.
2. Silmade kipitust, kuivustunnet ja nägemise halvenemist esineb 1/3 töötajatest.
3. Piisava ühtlase valgustatuse halvenemisel suureneb silmade pinge, kuivustunne ja kipitus, peavalu sageneb ning töötajad väsivad kiiremini.
4. Valgustatuse halvenemisel töötajate tööasendid muutuvad ja selle tõttu suurenevad vaevused randmetes, ülaseljas, jalgades ning õlgades. See vähendab töötajate tööviljakust.
5. Loomuliku valguse olemasolu mõjutab rohkem naiste töö tulemuslikkust.
6. Vanuse suurenemisel töötajate töövõime langeb. Töötajate töövõime halveneb, kui lampidest tulev räigus suureneb, tööpiirkonnas esineb häirivaid varje, esineb peegeldusi tööpindadelt või esineb häirivaid kontraste erinevate pindade ja detailide vahel.

Lampide valik ja valgustite paigutus säilitamiseks hea tööviljakus

Valgustuse standardiga kokku lepitud piirnormide osas on mõju olematu. Tööviljakust ei saa tõsta, me saame seda säilitada. Tööpäeva kestel, tulenevalt tsirkaadrütmist, töötaja väsib. Tööviljakuse languse põhjustaja ei ole ainult tehisvalgustus, põhjuseid on mitmed.

Töötajate küsitlusest selgus, et:

1. Valdava osa vastanute (90%) arvates tehisvalgustuse värelemist ei esine.
2. Töökohtade paigutamisel ruumis tuleb arvestada valgusti asukohaga, et valgusti asuks töölaua kohal.
3. Enamik vastanute (77%) tööruumides oldi töökoha kujundamisel sellega arvestatud ning valgustid asusid töölaua kohal.
4. Töökoha valgustust ei saa reguleerida 71% töötajatest.
5. 1/3 töötajate hinnangul mõjutab valgustatus töötulemuslikkust.

Täisspektriga luminofoorvalgustitele omistatud positiivne mõju puudub või ei ole väga suur. Täisspektriga valgustid siiski imiteerivad päeavalgust ja inimese nägemiselund ning psühholoogia on kujunenud just kooskõlas päiksevalgusega. Seetõttu võiks seda tüüpi valgusteid eelistada ja lugeda seda ergonoomiliseks.

Oluline on mõista, et värviesitusindeks võrdleb 14 värvuse kontekstis vaadeldava lambi spektrit sama värvsustemperatuuriga võrdlusvalgusallika spektriga. Seni on sellele lampide valikut tehes vähe tähelepanu pööratud. Projekteerijad peaksid eelistama võimalikult suure värviesitusindeksiga lampe ($Ra \geq 85$).

Tööviljakuse säilitamiseks ja töötajate rahulolu suurendamiseks on soovitatav projekteerida dünaamiline valgustuslahendus, mis korrigeerib päeva jooksul ka tehisvalgustuse värvsustemperatuuri.

Kui värvsustemperatuuri muutmist võimaldava dünaamilise valgustuslahenduse kasutamine ei ole võimalik, siis fikseeritud värvsustemperatuuridest on eelistatumad pigem keskmise värvsustemperatuuriga lambid (*neutral white*).

Nägemisülesande jaoks vajaliku valgustustiheduse tagamisel tuleb arvestada tööülesannet, heleduskontrasti ja inimese vanust. Standardis EVS-EN 12464-1:2011 soovitatud väärtused on nägemisülesande täitmise seisukohalt piisava varuga, et rahuldada võimalikult eripalgelist kasutajaskonda.

Arvestades inimeste eelistuste paljususega on valgustuspaigaldisega rahulolu tagamiseks vajalik valgustustingimuste reguleerimise võimalus.

SOOVITUSED

1. Selleks, et tagada kuvariga töötajatele suurepärane töövõime on vajalik vältida häirivaid kontraste erinevate pindade ja detailide vahel, lampidest tulevat räigust, häirivaid varje tööpiirkonnas, peegeldusi tööpindadelt ning liiga räiget valgustatust.
2. Tagada, et töökoha tehisvalgustatus vastaks standardis kehtestatud piirnormidele. Juhul kui üldvalgustitega ei ole töökoha valgustatust võimalik parendada, tuleks kasutusele võtta kohtvalgustid.
3. Kuvariga töökohtadel tagada piisav ühtlane valgustus. Jälgida, et valgustid paikneksid töölaudade kohal.
4. Kuigi enamasti on haridus- ja bürooruumid projekteeritud piisava loomuliku valguse juurdepääsuga, tuleb rohkem tähelepanu pöörata tehisvalgustuse piirnormide vastavusele kuvariga töökohtadel.
5. Töökohtadel, kus esines diskomforträägust, asendada räägust tekitavad valgustid teiste valgustite vastu. Diskomforträäguse vältimiseks tuleks eelistada valgusteid, milles lamp oleks kaetud. Oluline on projekteerida valgustid töölaudade kohale.
6. Suurepärase töövõime tagamiseks ja tööviljakuse säilitamiseks tuleb kuvariga töökoht kujundada ergonoomiliselt õigesti.
7. Kuvariga töötamise korral, tuleb pidada regulaarselt puhkepause ja pauside ajal teha silmade harjutusi. Puhkepauside ajal liikuda ja teha venitusharjutusi, et suurendada töövõimet.

Praktiliste valgustuslahenduste pakkumisel saab lähtuda eelkõige teoreetilistest seisukohtadest ja seejärel töökohtade mõõtmistulemustest ning töötajate hinnangutest.

Töö uudsus ja panus teema arendamisse

Uurimus andis põhjaliku teoreetilise ülevaate tehisvalgustuse parameetritest ning valgustuse otsesest ja kaudsest toimest töövõimele.

Uurimuse praktilises osas mõõdeti büroo- ja koolihoonte tehisvalgustuse parameetreid ja küsitleti töötajate hinnanguid tööpindade valgustatuse kohta, samuti tervise, töövõime ja töövõime kohta.

Uurimuse praktiline väärtus Riigi Kinnisvara kui kinnisvarakeskkonna kujundaja jaoks

Uurimuse teoreetiline osa esitab mudeli tehisvalgustuse toime mehhanismist nägemiselundi funktsioonile ja töösooritusele. Uurimus büroo- ja koolihoonete tehisvalgustuse vastavusest piirnormidele ja selle parameetrite toimest töövõimele selgitab puudused töökohtade valgustatuses. Töötajate hinnangud valgustatuse mõjust tervisele ja töövõimele näitavad, et esineb oluline seos valgusräiguse ja peegelduste ning terviskaebuste vahel. Uurimus annab soovitusel kooli- ja bürooruumide valgustustingimuste parendamiseks ja valgustuslahenduste projekteerimiseks.

KOKKUVÕTE

Tööviljakus sõltub nii jõudlusest kui töökuludest. Töötaja jõudlust saab valgus mõjutada kolmel viisil: otseselt nägemisvõime kaudu ja kaudselt, kas bioloogiliste või psühho-bioloogiliste mehhanismide kaudu. Töökulude vähenemine saab toimuda vaid elektrienergia säästmisega.

Nägemisvõime sidumiseks tööviljakusega on olemas nii teoreetiline aluspõhi (joonis 3) kui ka realselt toimiv suhtelise nägemisvõime mudel (joonised 7 ja 10). Mudeli põhjal võib öelda, et nüüdisaja valgustuspaigaldiste tingimustes teksti lugemine paberilt või arvutiekraanilt asub suhtelise nägemisvõime platoo alal, kus nägemisvõime on maksimumi lähedal.

Fotobioloogiasse (tsirkaadrütm) puutuvad teadusuuringud keskenduvad valdavas enamuses öötööle. Teadaolevad mehhanismid – kortisool ja melatoniin annavad tööviljakuse tõstmiseks erksuse ja kognitiivse võimete tipu nihutamise kaudu vähe lootust. Inimkeskse valgustuse kontekstis uuritavad ööpäevaseid muutusi jälgendavad dünaamilised valgustuslahendused on praegusel hetkel staadiumis, mis mõõdetaval kujul tööviljakuse jõudluse komponenti ei suurenda. Sellise valgustuslahenduse korral täheldatakse töötajate suuremat rahulolu, mille tööviljakust suurendav mõju kas puudub või väljendub kaootiliselt ja ei ole mõõdetav. Pigem võib tsirkaadrütm kontekstist olla olulisem jälgida, et sobimatu valgustuslahendus ei vähendaks tööviljakust keset tööpäeva melatoniini teket soodustades.

Psühho-bioloogiliste tegurite kontekstis on probleeme nii teoreetilise aluspõhjaga kui ka teooriate tõendamiseks läbiviidud katsete kordamisega. Arusaam valgustuslahenduse ülesehituse ja ruumi tajumise assotsiatsioonidest põhineb paljuski vaid ühe teadlase uuringutel, mida teistel ei ole õnnestunud korrata. Vaieldav on ka see, et kas valgustuspaigaldise juhtimine on autonoomsuse ja personaalse kontrolli suurendamisena väärtus omaette või on tegemist kõigest funktsionaalse elemendiga, mis võimaldab töökeskkonda muuta inimese ja nägemisülesande vajadusest lähtuvalt.

Psühho-bioloogiliste tegurite hulka kuulub ka loomuliku valguse olemasolu. Keegi ei kahtle loomuliku valguse vajaduses, sest selle bioloogiline mõju on selge D-vitamiini sünteesimise ja tsirkaadrütm juhtimise kontekstis. Loomulik valgustatus on tehisvalgustatusest intensiivsem ja sellele on omane suur ja kaootiline vahelduvus, mõlemal teguril võib olla töötajale stimuleeriv mõju, kuid see ei ole veenvalt tõestatud. Kuna loomulikku valgust saadakse reeglina akende kaudu on loomuliku valguse saamise lahutamatuks osaks ka aknast avanev vaade. Inimesed eelistavad võimalusel loodusvaateid, võimalik, et stimuleeriv on just looduses toimivate muutuste jälgimise vajadus.

Töökohtade paigutus on valgustuslahenduse lahutamatu osa. Töökohtade paigutuse muutmisel peab spetsialist nägemismugavuse säilimise tagamiseks valgustuslahenduse üle vaatama ja tegema uue räigusarvutuse. Uute valgustuslahenduste projekteerimisel tuleb valgustuslahenduse paindlikkuse vajadus ja ulatus märkida projekteerimistingimustesse.

Energiasäästu tegurite alla kuulub selle uuringu piirides inimeste käitumine. Väljaspool uuringu piire ka valgustite liik ja tehnilised parameetrid. Elektrienergia säästmiseks tuleb töötajatele võimaldada valgustuspaigaldise (automaat)juhtimine. Viimane tuleb teha töötaja jaoks võimalikult lihtsaks – tuua juhtseadis töölauale või kasutada nõ nutilahendust. Ruumi ukse ääres asuvat hämarduslülitit kasutatakse enamikul juhtudel vaid tööle tulles valgustuspaigaldise sisse ja lahkudes välja lülitamiseks. Teoreetiliselt on võimalik elektrienergiat säästa valides teadlikult hämarduslülitit vaikesätte ja ulatusega või/ja manipuleerides standardis EVS-EN 12464-1:2011 lubatud piirides ruumi heledusjaotusega.

Praktikas ei ole uus valgustuspaigaldis mõeldav ilma päevavalgusanduri ja kohalolekuandurita. Mõlema puhul on oluline veenduda, et need lähtuksid konkreetse ruumi ja selles tehtava töö sisust. Ka energiasäästu kontekstis on oluline loomuliku valguse pääs ruumi. Kuid oluline on võimaldada töötajatel ka loomuliku valguse ruumi pääsu piirata, seda nii liigse soojuskoormuse, räguse kui ka privaatsuse tagamise eesmärgil. Kardinate efektiivsel kasutamisel on inimesed samuti laisad – kardinate või rulood jäävad ette ka pärast otsese päiksepaiste möödumist. Seetõttu on otstarbekas kasutada kardinate automaatjuhtimist, kuid oluline on võimaldada töötajatel automaatjuhtimise kõrval ka käsijuhtimist. Üks võimalik lahendus on mõlemat võimaldav paralleelsüsteem, kus loomuliku valguse pääsu ruumi kontrolliks akna ülemises osas asuva kardina automaatjuhtimine ning töötaja saaks reguleerida vaadet akna kesk- ja alaosa katva ruloo või rullkardinaga. Suure tõenäosusega vajab taoliste süsteemide efektiivne rakendamine meie laiuskraadile vastavaid rakendusürauringuid.

KIRJANDUS

- Aeschbach, D., Cajochen, C., Landolt, H., & Borbély, A.A. (1996). Homeostatic sleep regulation in habitual short sleepers and long sleepers. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 270(1), R41-R53.
- Ashdown, I. (2005). Sensitivity analysis of glare rating metrics. *Leukos*, 2(2), 115-122.
- Baehr, E. K., Eastman, C. I., Revelle, W., Olson, S. H. L., Wolfe, L. F., & Zee, P. C. (2003). Circadian phase-shifting effects of nocturnal exercise in older compared with young adults. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 284(6), R1542-R1550.
- Bailey, I., Clear, R., & Berman, S. (1993). Size as a determinant of reading speed. *J.Illum.Eng.Soc.*, 22(2), 102–117.
- Begemann, S. H. A., Van Den Beld, G. J., & Tenner, A. D. (1997). Daylight, artificial light and people in an office environment, overview of visual and biological responses. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 20(3), 231–239.
- Benediktsson, G. (2009). Lighting Control: Possibilities in Cost and Energy-Efficient Lighting Control Techniques. :LUTEDX/(TEIE-5267)/1-86(2009).
- Berman, S.M., Navvab, M., Martin, M.J., Sheedy, J. and Tithof, W. (2006) A comparison of traditional and high colour temperature lighting on the near acuity of elementary school children, *Lighting Res. Technol.*, 38, 41–52.
- Berson, D. M., Dunn, F. A., & Takao, M. (2002). Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock. *Science*, 295(5557), 1070-1073.
- Binks, P. G., Waters, W. F., & Hurry, M. (1999). Short-term total sleep deprivations does not selectively impair higher cortical functioning. *Sleep*, 22(3), 328-334.
- Boff, K. R., & Lincoln, J. E. (1988). Engineering Data Compendium. Human Perception and Performance. Volume 1. Harry G. Armstrong Aerospace Medical Research Laboratory, Wright-Patterson AFB:Ohio.
- Bonmati-Carrion, M. A., Arguelles-Prieto, R., Martinez-Madrid, M. J., Reiter, R., Hardeland, R., Rol, M. A., & Madrid, J. A. (2014). Protecting the melatonin rhythm through circadian healthy light exposure. *International Journal of Molecular Sciences*, 15(12), 23448-23500.
- Boubekri, M., & Haghigat, F. (1993). Windows and Environmental Satisfaction: A Survey Study of an Office Building. *Indoor and Built Environment*, 2(3), 164–172.
- Boubekri, M., Cheung, I. N., Reid, K. J., Wang, C. H., & Zee, P. C. (2014). Impact of windows and daylight exposure on overall health and sleep quality of office workers: a case-control pilot study. *Journal of clinical sleep medicine: JCSM: official publication of the American Academy of Sleep Medicine*, 10(6), 603.
- Boyce, P. R. (1996). Illuminance selection based on visual performance - and other fairy stories. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 25(2), 41–49.
- Boyce P. R. (2003). *Human Factors in Lighting* (2nd ed.). London and New York: Taylor & Francis group.
- Boyce P. R. (2011). On measuring task performance. *Coloration Technology*, 127(2), 101-113.
- Boyce, P,R (2012). Illumination. In Salvendy, G. (Ed.), *Handbook of human factors and ergonomics* (pp 672-698). John Wiley & Sons.
- Boyce, P. R., Eklund, N. H., & Simpson, S. N. (2000). Individual Lighting Control: Task Performance, Mood, and Illuminance. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 29(1), 131–142.
- Boyce, P., Hunter, C., & Howlett, O. (2003a). *The Benefits of Daylight through Windows*. Troy, New York: Lighting Research Center.
- Boyce, P. R., Veitch, J. A., Newsham, G. R., Myer, M., & Hunter, C. (2003b). *Lighting quality and office work: A field simulation study (PNNL 14506)*. Richland, WA, USA: Pacific Northwest National Laboratory.

- Boyce, P. R., Veitch, J. A., Newsham, G. R., Jones, C. C., Heerwagen, J., Myer, M., & Hunter, C. M. (2006). Occupant use of switching and dimming controls in offices. *Lighting Research and Technology*, 38(4), 358–376.
- Boyce, P. R., Veitch, J. a, Newsham, G. R., Jones, C. C., Heerwagen, J., Myer, M., & Hunter, C. M. (2006b). Lighting quality and office work: two field simulation experiments. *Lighting Research and Technology*, 38(3), 191–223.
- Boulos, Z., Campbell, S. S., Lewy, A. J., Terman, M., Dijk, D. J., & Eastman, C. I. (1995). Light treatment for sleep disorders: consensus report: VII. Jet lag. *Journal of biological rhythms*, 10(2), 167-176.
- Brainard, G. C., & Hanifin, J. P. (2005). Photons, clocks, and consciousness. *Journal of biological rhythms*, 20(4), 314-325.
- Butler, D. L., & Steuerwald, B. L. (1991). Effects of View and Room Size on Window Size Preferences Made in Models. *Environment and Behavior*, 23(3), 334–358.
- Butler, D. L., & Biner, P. M. (1989). Effects of Setting on Window Preferences and Factors Associated With Those Preferences. *Environment and Behavior*, 21(1), 17–31.
- BUW (Bergische Universität Wuppertal). (2012). *WAI Online Questionnaire*. Loetud aadressil <http://www.arbeitsfaehigkeit.uni-wuppertal.de/index.php?wai-online-en>
- Buxton, O. M., Lee, C. W., L'Hermite-Balériaux, M., Turek, F. W., & Van Cauter, E. (2003). Exercise elicits phase shifts and acute alterations of melatonin that vary with circadian phase. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 284(3), R714-R724.
- Cajochen, C., Münch, M., Knoblauch, V., Blatter, K., & Wirz-Justice, A. (2006). Age-related changes in the circadian and homeostatic regulation of human sleep. *Chronobiology international*, 23(1-2), 461-474.
- Campbell, S. S., Terman, M., Lewy, A. J., Dijk, D. J., Eastman, C. I., & Boulos, Z. (1995). Light treatment for sleep disorders: consensus report V. Age-related disturbances. *Journal of Biological Rhythms*, 10(2), 151-154.
- CCOHS (Canadian Centre for Occupational Health and Safety). (2013). *Lighting Ergonomics - Survey and Solution*. Loetud aadressil https://www.ccohs.ca/oshanswers/ergonomics/lighting_survey.html#light
- Chraibi, S., Crommentuijn, L., Loenen, E. van, & Rosemann, A. (2017). Influence of wall luminance and uniformity on preferred task illuminance. *Building and Environment*, 117, 24–35.
- Clear, R. D. (2013). Discomfort glare: What do we actually know?. *Lighting Research & Technology*, 45(2), 141-158.
- *Commission Internationale de l'Éclairage, Method of Measuring and Specifying Colour Rendering Properties of Light Sources, CIE Publication 13.3. Vienna: CIE, 1995.
- Czeisler CA, Shanahan TL, Klerman EB, Martens H, Brotman DJ, Emens JS, Klein T, Rizzo JF 3rd (1995) Suppression of melatonin secretion in some blind patients by exposure to bright light. *N Engl J Med* 332: 6–11.
- Coggon, D., Ntani, G., Palmer, K. T., Felli, V. E., Harari, R., Barrero, L. H., ... & Bonzini, M. (2012). The CUPID (Cultural and Psychosocial Influences on Disability) study: methods of data collection and characteristics of study sample. *PLoS One*, 7(7), e39820.
- Colquhoun, W. P. (1984). Effects of personality on body temperature and mental efficiency following transmeridian flight. *Aviation, space, and environmental medicine*.
- *Cuttle, C. (1983). People and windows in workplaces. In *Proceedings of the people and physical environment research conference*, Wellington, New Zealand (pp. 203-212).
- viidatud Galasiu, A. D., & Veitch, J. A. (2006). Occupant preferences and satisfaction with the luminous environment and control systems in daylight offices: a literature review. *Energy and Buildings*, 38(7), 728–742.
- Cuttle, C. (2008). *Lighting by design*. Routledge: Elsevier.
- Cuttle, C. (2013). A new direction for general lighting practice. *Lighting Research and Technology*, 45(November 2012), 22–39.
- Czeisler, C. A., Duffy, J. F., Shanahan, T. L., Brown, E. N., Mitchell, J. F., Rimmer, D. W., Ronda, J.M., Silva, E.J., Allan, J.S., Emens, J.S. & Dijk, D. J. (1999). Stability, precision,

- and near-24-hour period of the human circadian pacemaker. *Science*, 284(5423), 2177-2181.
- Deguchi, T. & Sato, M. (1992). The effect of color temperature of lighting sources on mental activity level. *Ann Physiol Anthropol*, 11, 37-43.
- Dehoff, P. (2012). Lighting Quality and Energy Efficiency is not a Contradiction. *Light and Engineering*, 20(3), 34–39.
- de Kort, Y., & Smolders, K. (2010). Effects of dynamic lighting on office workers: First results of a field study with monthly alternating settings. *Lighting Research & Technology*, 42, 345–360.
- Denk, E., Jimenez, P., & Schulz, B. (2015). The impact of light source technology and colour temperature on the well-being, mental state and concentration of shop assistants. *Lighting Research & Technology*, 47(4), 419-433.
- DiLaura, D. L., Houser, K. W., Mistrick, R. G., & Steffy, G. R. (2011). *The lighting handbook: reference and application* (10th ed.). New York; NY.
- Eklund, N. H., Boyce, P. R., & Simpson, S. N. (2001). Lighting and Sustained Performance: Modeling Data-Entry Task Performance. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 30(2), 126–141.
- Figueiro, M. G., Gonzales, K., & Pedler, D. (2016). Designing with circadian stimulus. *Ld+a*, (October), 31–33.
- Fisekis, K., Davies, M., Kolokotroni, M., & Langford, P. (2003). Prediction of discomfort glare from windows. *Lighting Research & Technology*, 35(4), 360-369.
- Flynn, J., Hendrick, C., Spencer, T., & Martyniuk, O. (1979). A guide to methodology procedures for measuring subjective impressions in lighting. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 8(2), 95–110.
- Fonken, L. K., & Nelson, R. J. (2014). The effects of light at night on circadian clocks and metabolism. *Endocrine reviews*, 35(4), 648-670.
- Fotios, S., & Cheal, C. (2010). Stimulus range bias explains the outcome of preferred-illuminance adjustments. *Lighting Research and Technology*, 42(4), 433–447.
- Fotios, S. (2017). A Revised Kruithof Graph Based on Empirical Data. *Leukos*, 13(1), 3–17.
- Gigahertz-Optik GmbH. (2017). *MSC15. Low cost spectral light meter*. Loetud addressill <https://www.gigahertz-optik.de/en-us/product/msc15>
- Gould, R., Ilmarinen, J., Järvisalo, J., & Koskinen, S. (2008). *Dimensions of work ability*. Finnish Institute of Occupational Health.
- Harrison, Y., Horne, J. A., & Rothwell, A. (2000). Prefrontal neuropsychological effects of sleep deprivation in young adults--a model for healthy aging?. *Sleep*, 23(8), 1067-1073.
- Hasher, L., Zacks, R. T., & Rahhal, T. A. (1999). Timing, instructions, and inhibitory control: some missing factors in the age and memory debate. *Gerontology*, 45(6), 355-357.
- Hedden, T., & Gabrieli, J. D. (2004). Insights into the ageing mind: a view from cognitive neuroscience. *Nature Reviews Neuroscience*, 5(2), 87-96.
- Heerwagen, J. H., & Orians, G. H. (1986). Adaptations to windowlessness: A study of the use of visual decor in windowed and windowless offices. *Environment and Behavior*, 18(5), 623-639.
- Hopkinson, R. G., & Longmore, J. (1959). Attention and distraction in the lighting of work-places. *Ergonomics*, 2(4), 321–334.
- Horst, R.L., Silverman, E.B., Rershner, R.L., Mahaffey, D.L. and Parris, H. L. (1988). Research Study on the Effects of Illumination on Performance of Control Room Tasks. *IEEE Fourth Conference on Human Factors a Power Plants*, 238-246.
- Houser, K., Mossman, M., Smet, K., & Whitehead, L. (2016). Tutorial: Color Rendering and Its Applications in Lighting. *LEUKOS - Journal of Illuminating Engineering Society of North America*, 12(1–2), 7–26.
- Joyce, K., Pabayo, R., Critchley, J. A., & Bambra, C. (2009). Flexible working conditions and their effects on employee health and wellbeing. *Cochrane Database Syst Rev*, 2.
- Juslén, H., & Tenner, A. D. (2005). Mechanisms involved in enhancing human performance by changing the lighting in the industrial workplace. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 35(9), 843–855.

- Kaida, K., Takahashi, M., & Otsuka, Y. (2007). A short nap and natural bright light exposure improve positive mood status. *Industrial Health*, 45(2), 301-308.
- Kakitsuba, N. (2016). Comfortable Indoor Lighting Conditions Evaluated from Psychological and Physiological Responses. *LEUKOS - Journal of Illuminating Engineering Society of North America*, 12(3), 163–172.
- Kaye, S. M. (1988). *Variations In The Luminous and Sonic Environment: Proofreading and Visual Search Effects; Mood States and Frustration Tolerance After Effects*. New York: NY: Lighting Research Institute.
- Kennedy, A., & Murray, W. S. (1991). The effects of flicker on eye movement control. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 43(1), 79-99.
- Kent, M. G., Altomonte, S., Tregenza, P. R., & Wilson, R. (2015). Discomfort glare and time of day. *Lighting Research & Technology*, 47(6), 641-657.
- *Kleitman, N. (1933). Studies on the physiology of sleep: VIII. Diurnal variation in performance. *Am J Physiol*, 104, 449-456, viidatud: Blatter, K., & Cajochen, C. (2007). Circadian rhythms in cognitive performance: methodological constraints, protocols, theoretical underpinnings. *Physiology & Behavior*, 90(2), 196-208.
- * Kleitman, N., Titelbaum, S., & Feiveson, P. (1938). The effect of body temperature on reaction time. *American Journal of Physiology--Legacy Content*, 121(2), 495-501., viidatud: Blatter, K., & Cajochen, C. (2007). Circadian rhythms in cognitive performance: methodological constraints, protocols, theoretical underpinnings. *Physiology & Behavior*, 90(2), 196-208.
- Klerman, E. B., Shanahan, T. L., Brotman, D. J., Rimmer, D. W., Emens, J. S., Rizzo III, J. F., & Czeisler, C. A. (2002). Photoc resetting of the human circadian pacemaker in the absence of conscious vision. *Journal of Biological Rhythms*, 17(6), 548-555.
- Kruithof, A. A. (1941). Tubular luminescence lamps for general illumination. *Philips Tech. Review*, 6, 65-96.
- Küller, R., & Wetterberg, L. (1993). Melatonin, cortisol, EEG, ECG and subjective comfort in healthy humans: impact of two fluorescent lamp types at two light intensities. *Lighting Research and Technology*, 25(2), 71-80.
- Lehrl, S., Gerstmeyer, K., Jacob, J. H., Frieling, H., Henkel, A. W., Meyrer, R., ... & Bleich, S. (2007). Blue light improves cognitive performance. *Journal of Neural Transmission*, 114(4), 457-460.
- * Lewy, A. J., Cutler, N. L., & Sack, R. L. (1999). The endogenous melatonin profile as a marker for circadian phase position. *Journal of Biological Rhythms*, 14(3), 227-236, viidatud: Blatter, K., & Cajochen, C. (2007). Circadian rhythms in cognitive performance: methodological constraints, protocols, theoretical underpinnings. *Physiology & Behavior*, 90(2), 196-208.
- Lewy, A. J., Kern, H. A., Rosenthal, N. E., & Wehr, T. A. (1982). Bright artificial light treatment of a manic-depressive patient with a seasonal mood cycle. *The American Journal of Psychiatry*.
- Lingenfelser, T. H., Kaschel, R., Weber, A., Zaiser-Kaschel, H., Jakober, B., & Küper, J. (1994). Young hospital doctors after night duty: their task-specific cognitive status and emotional condition. *Medical Education*, 28(6), 566-572.
- Lockley, S. W., Brainard, G. C., & 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.
- Lockley SW, Evans EE, Scheer FA, Brainard GC, Czeisler CA, Aeschbach D (2006) Short-wavelength sensitivity for the direct effects of light on alertness, vigilance, and the waking electroencephalogram in humans. *Sleep* 29: 161–168.
- Logadóttir, Á., Christoffersen, J., & Fotios, S. a. (2011). Investigating the use of an adjustment task to set the preferred illuminance in a workplace environment. *Lighting Research & Technology*, 43(4), 403–422.
- Maniccia, D., Rutledge, B., Rea, M. S., & Morrow, W. (1999). Occupant use of manual lighting controls in private offices. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 28(2), 42-56.

- McCarthy, M. E., & Waters, W. F. (1997). Decreased attentional responsivity during sleep deprivation: orienting response latency, amplitude, and habituation. *Sleep*, 20(2), 115-123.
- McColl, S. L., & Veitch, J. A. (2001). Full-spectrum fluorescent lighting: A review of its effects on physiology and health. *Psychological Medicine*, 31(6), 949–964.
- Merisalu, E. (2016). Töötervishoid. Ohutegurid töökeskkonnas. Terviseriskide hindamine ja juhtimine. Tartu: Tartu Ülikooli Kirjastus
- Meurant, G. (2012). Hormonally Induced Changes to the Mind and Brain. Academic Press.
- Mills, P. R., Tomkins, S. C., & Schlangen, L. J. (2007). The effect of high correlated colour temperature office lighting on employee wellbeing and work performance. *Journal of circadian rhythms*, 5(1), 2.
- Mistlberger, R. E., & Antle, M. C. (1998). Behavioral inhibition of light-induced circadian phase resetting is phase and serotonin dependent. *Brain Research*, 786(1), 31-38.
- Miyazaki, T., Hashimoto, S., Masubuchi, S., Honma, S., & Honma, K. I. (2001). Phase-advance shifts of human circadian pacemaker are accelerated by daytime physical exercise. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 281(1), R197-R205.
- Monk, T.H., Buysse, D.J., Reynolds, C.F., Berga, S.L., Jarrett, D.B., Begley, A.E., Kupfer, D.J. (1997). Circadian rhythms in human performance and mood under constant conditions. *Journal of Sleep Research*, 6(1), 9-18.
- Mrosovsky, N. (1991). Double-pulse experiments with nonphotic and photic phase-shifting stimuli. *Journal of Biological Rhythms*, 6(2), 167-179.
- Mukae, H. & Sato, M. (1992). The effect of color temperature of lighting sources on the autonomic nervous functions. *Ann Physiol Anthropol*, 11, 533-538.
- Ne'Eman, E., & Hopkinson, R. G. (1970). Critical minimum acceptable window size: a study of window design and provision of a view. *Lighting Research & Technology*, 2(1), 17–27.
- Newsham, G. R., & Veitch, J. A. (2001). Lighting quality recommendations for VDT offices: a new method of derivation. *Lighting Research and Technology*, 33(2), 97–113.
- Newsham, G., Veitch, J., Arsenault, C., & Duval, C. (2004). Effect of dimming control on office worker satisfaction and performance. *In Proceedings of the IESNA annual conference* (pp. 19-41).
- NIGMS (The National Institute of General Medical Sciences). (2012). *Circadian Rythms Fact Sheet*. Loetud aadressil https://www.nigms.nih.gov/education/pages/Factsheet_CircadianRhythms.aspx
- Nijp, H. H., Beckers, D. G., Geurts, S. A., Tucker, P., & Kompier, M. A. (2012). Systematic review on the association between employee worktime control and work-non-work balance, health and well-being, and job-related outcomes. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 299-313.
- Noguchi, H., & Sakaguchi, T. (1999). Effect of illuminance and color temperature on lowering of physiological activity. *Applied Human Science*, 18(4), 117-123.
- NRCWE (The National Research Centre for the Working Environment). (2007). *Copenhagen Psychosocial Questionnaire - COPSQ II. The construction of the scale in COPSQ II*. Loetud aadressil <http://www.arbejdsmiljoforskning.dk/en/publikationer/spoergeskemaer/psykisk-arbejdsmiljoe>
- O'Brien, W., Kapsis, K., & Athienitis, A. K. (2013). Manually-operated window shade patterns in office buildings: A critical review. *Building and Environment*, 60, 319-338.
- Papamichael, K., Siminovitsh, M., Veitch, J. A., & Whitehead, L. (2016). High Color Rendering Can Enable Better Vision without Requiring More Power. *LEUKOS - Journal of Illuminating Engineering Society of North America*, 12(1–2), 27–38.
- Park, S. J., & Tokura, H. (1999). Bright light exposure during the daytime affects circadian rhythms of urinary melatonin and salivary immunoglobulin A. *Chronobiology international*, 16(3), 359-371.
- Partonen, T., & Lönnqvist, J. (2000). Bright light improves vitality and alleviates distress in healthy people. *Journal of Affective disorders*, 57(1), 55-61.

- Paul, B. M., & Einhorn, H. D. (1999). Discomfort glare from small light sources. *International Journal of Lighting Research and Technology*, 31(4), 139-144.
- Phipps-Nelson, J., Redman, J. R., Dijk, D. J., & Rajaratnam, S. M. (2003). Daytime exposure to bright light, as compared to dim light, decreases sleepiness and improves psychomotor vigilance performance. *Sleep*, 26(6), 695-700.
- Ralph, M. R., & Mrosovsky, N. (1992). Behavioral inhibition of circadian responses to light. *Journal of Biological Rhythms*, 7(4), 353-359.
- Rea, M. (1981). Visual performance with realistic methods of changing contrast. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 164-177.
- Rea, M. S. (1984). Window blind occlusion: a pilot study. *Building and Environment*, 19(2), 133-137.
- Rea, M., Figueiro, M., & Bullough, J. (2002). Circadian photobiology: an emerging framework for lighting practice and research. *Lighting Research and Technology*, 34(3), 177-190.
- Rea, M. S., & Figueiro, M. G. (2016). Light as a circadian stimulus for architectural lighting. *Lighting Research and Technology*, 1-14.
- Rea, M. S., & Ouellette, M. J. (1988). Visual performance using reaction times. *Lighting Research & Technology*, 20(4), 139-153.
- Rea, M. S., & Ouellette, M. J. (1991). Relative visual performance: A basis for application. *Lighting Research and Technology*, 23(3), 135-144.
- Reppo, B. (1997). *Lehmfarmi tehnoloogiliste elementide ja biotehniliste süsteemide töökindluse määramise ja parendamise meetodid*. Tartu. EMPÜ, 113 lk.
- Roenneberg, T., Kuehne, T., Pramstaller, P. P., Ricken, J., Havel, M., Guth, A., & Mellow, M. (2004). A marker for the end of adolescence. *Current Biology*, 14(24), R1038-R1039.
- Romm, J. J., & Browning, W. D. (1994). *Greening the building and the bottom line: Increasing productivity through energy-efficient design*. Rocky Mountain Institute.
- Ruger, M., Gordijn, M.C.M., Beersma, D.G.M., de Vries, B. and Daan, S. (2006) Time-of-day-dependent effects of bright light exposure on human psychophysiology: Comparison of daytime, night time exposure, *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.*, 290, 1413-1420.
- *Santamaria, J. G., & Bennett, C. A. (1981). Performance effects of daylight. *Lighting Design and Application*, 11, 31-34. viidanud: Boyce, P., Hunter, C., & Howlett, O. (2003). *The Benefits of Daylight through Windows*. Troy, New York: Lighting Research Center.
- Sagaspe, P., Sanchez-Ortuno, M., Charles, A., Taillard, J., Valtat, C., Bioulac, B., & Philip, P. (2006). Effects of sleep deprivation on Color-Word, Emotional, and Specific Stroop interference and on self-reported anxiety. *Brain and Cognition*, 60(1), 76-87.
- Saks, O., Vilbaste, M., Kinnas, S., & Kepler, K. (2010). *Töökeskkonna füüsikaliste ohutegurite parameetrite mõõtmine*. Tartu Ülikooli Keemia Instituudi katsekoda. Loetud aadressil <https://goo.gl/221jPm>
- Scheer, F.A., & Buijs, R.M. (1999). Light affects morning salivary cortisol in humans. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 84, 3395-3398.
- Shepherd, A. J., Julian, W. G., & Purcell, A. T. (1992). Measuring appearance: Parameters indicated from gloom studies. *Lighting Research & Technology*, 24(4), 203-214.
- Slegers, P. J. C., Moolenaar, N. M., Galetzka, M., Pruyn, A., Sarroukh, B. E., & Van Der Zande, B. (2013). Lighting affects students' concentration positively: Findings from three Dutch studies. *Lighting Research and Technology*, 45(2), 159-175.
- Smolders, K. C., De Kort, Y. A., & Cluitmans, P. J. M. (2012). A higher illuminance induces alertness even during office hours: Findings on subjective measures, task performance and heart rate measures. *Physiology & Behavior*, 107(1), 7-16.
- Sullivan, J. (2013). Tubular Daylighting Devices and People: A comparison of the human responses to Tubular Daylighting Devices and fluorescent lighting.
- Sullivan, J., & Donn, M. (2016). Light Distribution and Spatial Brightness : relative importance of the walls, Ceiling and floor. In *CIE 2016 Lighting Quality and Energy Efficiency Conference*. Melbourne, Australia.
- Stanley P. E., Krichka L. J. (2002). *Bioluminescence & Chemiluminescence: Progress & Current Applications*. Singapore: World Scientific.

- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18(6), 643.
- Taillard, J., Philip, P., & Bioulac, B. (1999). Morningness/eveningness and the need for sleep. *Journal of Sleep Research*, 8(4), 291-295.
- Tamm, T. (2009). *Valgustustehnika I*. Tallinn:TTÜ Kirjastus.
- Terman, M., & Terman, J. S. (2005). Light therapy for seasonal and nonseasonal depression: efficacy, protocol, safety, and side effects. *CNS Spectrums*, 10(08), 647-663.
- Thorington, L. (1985). Spectral, Irradiance, and Temporal Aspects of Natural and Artificial Light. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 453(1), 28–54.
- Tiller, D. K., & Veitch, J. A. (1995). Perceived room brightness: Pilot study on the effect of luminance distribution. *Lighting Research and Technology*, 27(2), 93–101.
- Tuomi, K., Ilmarinen, J., Jahkola, A., Katajarinne, L., & Tulkki, A. (1994). *Work ability index*. Helsinki: Institute of Occupational Health.
- Tzempelikos, A., & Athienitis, A. K. (2003). Simulation for façade options and impact on HVAC system design. *Proceedings of IBPSA*, 1301-1308.
- Uttley, J., Fotios, S., & Cheal, C. (2013). Satisfaction and illuminances set with user-controlled lighting. *Architectural Science Review*, 56(4), 306–314.
- van den Berg, T. I., Elders, L. A., de Zwart, B. C., & Burdorf, A. (2009). The effects of work-related and individual factors on the Work Ability Index: a systematic review. *Occupational and Environmental Medicine*, 66(4), 211-220.
- van Dongen, H., Rogers, N. L., & Dinges, D. F. (2003). Sleep debt: Theoretical and empirical issues. *Sleep and Biological Rhythms*, 1(1), 5-13.
- van Reeth, O., Sturis, J., Byrne, M. M., Blackman, J. D., L'Hermite-Baleriaux, M., LeProult, R., Oliner, C., Refetoff, S., Turek, F.W. & Van Cauter, E. (1994). Nocturnal exercise phase delays circadian rhythms of melatonin and thyrotropin secretion in normal men. *American Journal of Physiology-Endocrinology And Metabolism*, 266(6), E964-E974.
- Veitch, J. A. (2001). Psychological processes influencing lighting quality. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 4480(1), 124–140.
- Veitch, J. A., & McColl, S. L. (2001). A critical examination of perceptual and cognitive effects attributed to full-spectrum fluorescent lighting. *Ergonomics*, 4(3), 255–279.
- Wei, M., Houser, K., David, A., & Krames, M. (2015). Perceptual responses to LED illumination with colour rendering indices of 85 and 97. *Lighting Research and Technology*, 47(7), 810–827.
- Wilkins, A. J., Nimmo-Smith, I., Slater, A. I., & Bedocs, L. (1989). Fluorescent lighting, headaches and eyestrain. *Lighting Research & Technology*, 21(1), 11-18.
- WHO (World Health Organisation). (2017). *Body mass index - BMI*. Loetud aadressil <http://www.euro.who.int/en/health-topics/disease-prevention/nutrition/a-healthy-lifestyle/body-mass-index-bmi>
- Wright, T. A., & Cropanzano, R. (2000). Psychological well-being and job satisfaction as predictors of job performance. *Journal of Occupational Health Psychology*, 5(1), 84.
- Wright, K. P., Hull, J. T., Hughes, R. J., Ronda, J. M., & Czeisler, C. A. (2006). Sleep and wakefulness out of phase with internal biological time impairs learning in humans. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18(4), 508-521.
- Wright, T. A., & Staw, B. M. (1999). Affect and favorable work outcomes: Two longitudinal tests of the happy-productive worker thesis. *Journal of Organizational Behavior*, 1-23.
- Yoon, C., May, C. P., & Hasher, L. (1999). Aging, circadian arousal patterns, and cognition. *Cognition, Aging, and Self-reports*, 117-143.
- Youngstedt, S. D., Kline, C. E., Elliott, J. A., Zielinski, M. R., Devlin, T. M., & Moore, T. A. (2016). Circadian phase-shifting effects of bright light, exercise, and bright light+ exercise. *Journal of Circadian Rhythms*, 14.
- Youngstedt, S. D., Kripke, D. F., Elliott, J. A., O'brien, P. M., & Huegel, G. O. (2001). Circadian phase-response curves for exercise and bright light. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33(5), S178.