



Renet Merisalu

BÜROOPINNA VALGUSTUSLAHENDUS

LÕPUTÖÖ

Tehnikainstituut

Elektritehnika

Juhendaja: Marko Kuusik, *MSc, MA*

Tallinn 2024

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Renet Merisalu

annan Tallinna Tehnikakõrgkoolile (edaspidi kõrgkool) tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

Büroopinna valgustuslahendus

1) reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada ja teha üldsusele kättesaadavaks Tallinna Tehnikakõrgkooli digiarhiivi DSpace kaudu;

2) reprodutseerimiseks pärast piirangu lõppu juhul, kui instituudi direktori korraldusega on kehtestatud lõputöö avaldamisele tähtajaline piirang.

Olen teadlik, et nimetatud õigused jäävad alles ka autorile ja kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid ega muid õigusi.

Autorideklaratsioon

Mina, Renet Merisalu

tõendan, et lõputöö on minu kirjutatud. Töö koostamisel kasutatud teiste autorite, sh juhendaja ja iseenda varasematele teostele on viidatud õiguspäraselt.

Kõik isiklikud ja varalised autoriõigused käesoleva lõputöö osas kuuluvad autorile ainuisikuliselt ning need on kaitstud autoriõiguse seadusega.

(allkirjastatud digitaalselt)

Juhendaja Liis Luik

Töö vastab lõputööle esitatavatele nõuetele.

(allkirjastatud digitaalselt)

(kuupäevad digiallkirjas)

SISUKORD

SISSEJUHATUS	4
1. OBJEKTI TUTVUSTUS	5
2. VALGUSTITE VALIK	7
2.1. Valiku parameetrid	7
2.2. Valitud valgustid	7
3. HOOLDETEGURID	11
3.1. Hooldetegurite arvutamine	11
3.2. Tulemused	12
4. VALGUSTUSARVUTUSED	14
4.1. Tööruumid.....	14
4.2. Koosolekuruumid	16
4.3. Avatud alad ja koridor	20
4.3.1. Avatud tööala 1	20
4.3.2. Avatud tööala 2.....	23
4.4. Köök, WC-d ja kõneboks	25
5. VALGUSTUSE JUHTIMINE.....	28
5.1. DALI-2 süsteem	28
5.2. Juhtimine läbi DALI-2 protokoll ja lülitite	29
6. PÄEVAVALGUS.....	31
6.1. Arvutuse lähteandmed	31
6.2. Päevavalguse arvutused.....	31
6.2.1. Märts	31
6.2.2. Juuni.....	33
6.2.3. September.....	34
6.2.4. Detsember.....	35
6.3. Päevavalguse mõju aastasele elektritarbimisele	37
KOKKUVÕTE	39
SUMMARY.....	40
VIIDATUD ALLIKAD.....	41
LISAD	44
Lisa 1. Andurite tuvastusalad	45
Lisa 2. 7.korruse valgustuspaigaldise plaan	46

SISSEJUHATUS

Antud lõputöös käsitletakse Tallinna Viru ringteel asuvat büroohoonet, kus kontori renoveerimise ajal teostati kliendile valgustuse põhiprojekt seitsmendal korrusel asuvale kontoripinnale. Büroohoonetel tuleb tähelepanelikult järgida EVS-12464-1 sisetöökoha valgustuse standardit [1], kuna tegemist on kontoriruumidega, kus arvutite taga tehakse tööd terve päev. Ebapiisav valgustus võib töötajatele põhjustada silmade kiiremat väsimist, ning pikemas perspektiivis ka nägemiskahjustusi.

Lõputöö eesmärgiks on uurida antud valgustusprojekti raames päevavalguse mõju aastasele elektrikulule. Selleks tuli teostada kliendile täielik valgustuslahendus koos valgustite juhtimisega läbi *DALI-2* protokoll.

Lõputöö peatükkide ülesehitus kajastab valgustusprojekti etappide loogilist järjestust, ning projekti elluviimise protsessi. Esimeses peatükis tutvustatakse projekti ja tuuakse esile selle projekti valgustuslahenduse jaoks seotud ülesandeid, mida järgides on antud valgustusprojekt lahendatud.

Teises peatükis tuuakse esile erinevad valgustite hajutid, milliseid hajuteid tuleks kasutada kontorites ja mis valgustid projekti lõpuks valiti.

Kolmandas peatükis selgitatakse hooldetegurit, kuidas see mõjutab valgustite pikajalist efektiivust ja selle arvutamise meetodikat. Lisaks esitatakse iga ruumitüübi jaoks arvutatud hooldetegurid.

Kolmandas peatükis selgitatakse hooldetegurit ja selle arvutamise meetodikat. Lisaks esitatakse välja ka projekti ruumidesse arvutatud hooldetegurid iga ruumitüübi kohta.

Neljandas peatükis kirjeldatakse ja esitatakse projektis käiku viidud valgustusarvutusi, kasutades rakendust DIALux EVO 12.0. Välja on toodud ruumi üldprintsiibid ja mida tuli järgida, samuti ka valgustite valiku täpsustused ja nende hämardamine.

Viiendas peatükis käsitletakse projekti juhtimisviise, sealhulgas lülitite ja kohalolekuandurite kasutamist erinevates ruumides, mis kõik on integreeritud *DALI-2* süsteemi. Samuti uuritakse päevavalguse mõju kogu büroopinna energiakulule, arvestades hoone klaasist fassaadi, mis võimaldab suurel hulgal loomulikku valgust siseneda ja seeläbi vähendada kunstliku valgustuse vajadust päevasel ajal

1. OBJEKTI TUTVUSTUS

Büroopind asub Tallinna kesklinnas Viru väljaku ringtee juures. Hoone on seitsme korruseline ja kogu välispinna põhiline konstruktsioon on klaasist. Projekti raamesse kuulus seitsmendale korrusel olev 335 m² büroopind, mis koosneb viiest tööruumist, kolmest koosolekuruumist ja kahest avatud tööalast, kuhu lisaks kuuluvad veel vastuvõtu ala, puhkeala ning koridorid. Samuti kuulusid tegemisele ka tualettruumid, kõneboks ja köök (Joonis 1).

Hoone valgustuse projekteerimisel tuli arvestada, et oleks tagatud nägemisülesanneteks vajalik valgustus, valgustuse kvalitatiivsed nõuded, ning lisaks veel nägemismugavus. Kuna büroos ei ole töötajate vanus teada, siis tuli arvestada ka ealisi eripärasid, mis toetaks nende nägemisvajadusi. Samuti pidi valgustus toetama töötajate meeleolu ja loomulikku ööpäevarütumi ning parandaks heaolu ja sooritusvõimet. Samuti tuli arvestada, et valgustuslahendus oleks keskkonnasõbralik ja jätkusuutlik, oleks esteetiliselt sobilik antud keskkonnaga ning tekitaks arhitektuuriga ühtse terviku.

Tööruumide valgustusarvutamisel tuli pöörata tähelepanu ka klaasist välisseintele, mille tõttu ei peegeldu sama palju valgust kui näiteks tavalise seinaga. Kuid tänu suurtele akendele tuleb päeval ajal sisse palju välisvalgust, mille tõttu on võimalik energiakulu säästa, hoides valgustid minimaalsel vajalikul võimsusel, et tagada piisav valgustihedus ruumides ja töökohtadel.

26.03 m



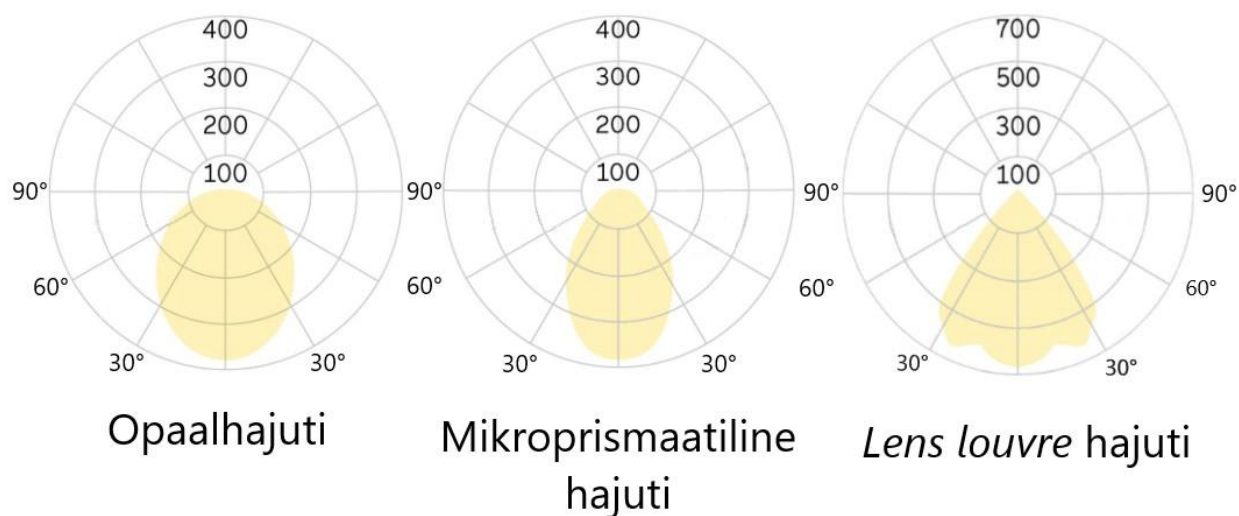
Joonis 1. 7. korrusel olev büroopinna põhiplaan

2. VALGUSTITE VALIK

2.1. Valiku parameetrid

Valides valgusteid büroohonetele, tuleb erilist tähelepanu pöörata valgustite valgusjaotusele ja rägustegurile. Valgustite hajutid mõjutavad valgusjaotust, ning mängib suurt rolli ka räguste tekkimisel. Opaalhajuti on enim levinud, mis kõlbab kasutamiseks peaaegu igal pool kus räguse nõuete täitmine ei ole kõige tähtsam, nagu koridorides, ladudes jne. oma laiema valgusjaotuse tõttu. Mikroprismaatilistest läätsedest koosnevat hajutit kasutatakse kohtades, kus vajalik on järgida rägusnõudeid, sobides kontoritesse, tänu oma kontsentreerituma valgusvihu ja keskmiselt madalama rägusteguri tõttu. *Lens louvre* hajutiga valgustid on mõeldudki just kontoritesse, kuna sellel on madal rägustegur ja lai valgusviht (Joonis 2).

Üldjuhul on majanduslikult otstarbekam soetada valgusteid suurtes partiides ühelt tootjalt, kuna nende hulgihind tuleb madalam võrreldes erinevate valgustite tellimisega erinevatelt tootjatelt.



Joonis 2. Valgusvoo nurkade vahe erinevate valgushajutite vahe




2.2. Valitud valgustid

Projekti valiti valgustitootja *Lightnet GmbH* [2] valgustid. *Lightnet*-i kontor asub Saksamaal Kölnis, kuid neil on palju kontoreid üle Euroopa, ning on Ameerika turule arenenud. Eestis on põhiliseks vahendajaks ja tarnijaks ettevõtte Kuustuudio [3], läbi kelle saab soetada neid

valgusteid. *Lightnet*-il on hea lihtne ja mugav veebileht, kus leiab laia valiku tooteid, mida saab konfigurereerida vastavalt vajadustele. Autor on kasutanud oma varasemates projektides *Lightnet*-i valgusteid juba pikemat aega, tänu millele on olnud *Lightnet*-il ka eelis teiste firmade toodete ees. Kõik valgustid on valitud *DALI* liidestega, et nende valgusvoogu saaks reguleerida ja valgusteid eraldi juhtida. Tualettruumide ja kõneboksi valiti lihtsa ON/OFF süsteemiga valgustid.

Tööruumidesse, eriti just töölaudade kohale, tuli valida valgustid, millel on madal räägustegur. Selleks valiti *Lens louvre* hajutiga valgusti, et võimalikult vähe oleks kõrvale kalduvat valgust, mis segaks laua taga töötavat inimest. Tausta valgustuseks nendes ruumides valiti kohtvalgustid, mis valgustavad spetsiifilisi valgust vajavaid kohti. Oma kitsa valgusvihu tõttu, ei hakka see ka silma paistma (Tabel 1).

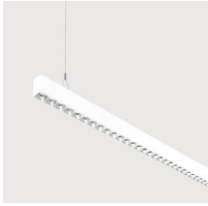


Tabel 1. *Lightnet* valgustite valik tööruumides [4] [5] [6]

Valgusti parameetrid	Valgustid		
	Matric-G3	Midpoint-A6	Cubic-Y4
			
Valgusvoog, lm	3506	1680	2852
Võimsus, W	27	19	27
Valgusviljakus, lm/w	129.9	89.4	105.6
Värviesitusindeks R_a	>80	>80	>80
Värvustemperatuur, K	3000	3000	3000
Hajuti	<i>Lens louvre</i> hajuti	50° reflektor	Mikroprismaatiline hajuti
Toimivusnäitajad ruumitemperatuuril 25 ° C, L_xB_y	L85B10	L90B10	L85B10

Samalaadne valik tehti ka koosolekuruumides, kus taustvalgustuseks kasutati samsuguseid kohtvalgusteid ja lineaarvalgusteid, välja arvatud koosolekuruumis 3, kus *Lens louvre* optika asemel kasutati pikema laua kohal mikroprismaatilist optikat.

Avatud tööalades kasutati samasugust ideed, ainult et laudade kohal olev valgusti valiti veidi pikem ja võimsam, põhjuseks et valgustada ühe valgustiga kaks töölauda ära. Pinnapealsed taustavalgustid asendati siinil olevate valgustitega, lihtsama hooldamise ja paigaldamise eesmärgil, samuti oma modulaarsuse tõttu, et tulevikus vajadusel midagi lisada saaks. Hajutid jäeti kõigil samaks (Tabel 2).


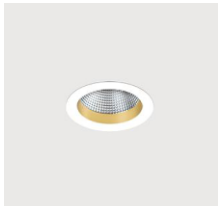

Tabel 2. *Lightnet* valgustite valik avatud tööalades [4] [7] [8]

Valgusti parameetrid	Valgustid		
	Matric-G3	Midpoint-C7	Cubic Evolution C4
			
Valgusvoog, lm	5030	1580	3460
Võimsus, W	40	19	32
Valgusviljakus, lm/w	125.8	83.2	108.1
Värviesitusindeks R_a	>80	>80	>80
Värvustemperatuur, K	3000	3000	3000
Hajuti	<i>Lens louvre</i> hajuti	50° reflektor	Mikroprismaatiline hajuti
Toimivusnäitajad ruumitemperatuuril 25 ° C, L_xB_y	L85B10	L90B10	L85B10

Koridorides, WC-des ja kõneboxis kasutati opaalhajutiga lineaarvalgusteid, kuna nendes ruumides ei ole rägustele seatud nii rangeid piiranguid. Toode on sama, mis eelnevates ruumides, milleks on *Matric-G3*, kuid tunduvat lühem, olles kõigest 600 mm pikk.

Koridorides kasutati ka süvistatavat valgustit, mis põhineb *Midpoint-A6* samalaadsesse perekonda kuuluval valgustil, *Midpoint-F7*. Lisaks on valitud puhkenurka *Halla* valgustitefirma poolt pakutav üldvalgusti oma välimuse poolest. Opaalhajutit sellele ei valitud, kuna puhkamise ajal ei ole hea kui istumisel on rägus suur, sellel põhjusel valiti mikroprismaatilise hajutiga variant (Tabel 3).

Tabel 3. Lightnet ja Halla valgustite valik koridorides, WC-des ja kõneboxis [4] [9] [10]

Valgusti parameetrid	Valgustid		
	Matric-G3	Midpoint-F7	Rotao100
			
Valgusvoog, lm	1187	1580	3060
Võimsus, W	12	19	34.9
Valgusviljakus, lm/w	98.9	83.2	87.7
Värviesitusindeks R_a	>80	>90	>80
Värvustemperatuur, K	3000	3000	3000
Hajuti	Opaalhajuti	50° reflektor	Mikroprismaatiline hajuti
Toimivusnäitajad ruumitemperatuuril 25 ° C, $L_x B_y$	L85B10	L90B10	L85B10

Kõik andmed iga vastava valgusti kohta on leitavad *Lightnet*-i ja [2] *Halla* [11] veebilehtedelt saadavatel andmelehtedelt.

3. HOOLDETEGURID

3.1. Hooldetegurite arvutamine

Enne, kui saab teha valgusarvutusi, tuleb esmalt leida ruumide hooldetegurid, mis simuleerib valgustustaseme vähenemist kogu oma eluea vältel. Selleks kasutatakse standardit ISO/CIE TS 22012:2019 *Valgus ja valgustus. Hooldeteguri määramine* [12], mis määrab kogu hooleteguri arvutamise protsessi.

Hooldeteguri arvutamise valem on järgmine (1):

$$f_m = f_{LF} \cdot f_S \cdot f_{LM} \cdot f_{SM}, \quad (1)$$

kus f_M - hooldetegur;

f_{LF} - valgusvoo säiletegur;

f_S - valgusti elueategur;

f_{LM} - valgusti hooldetegur;

f_{SM} - ruumipindade hooldetegur.

Antud büroos on valgustus hämardatud oma maksimum valgusvoost madalamaks ja selletõttu on kogu büroo valgustuspaiga elueaks arvestatud 10 aastat.

Tööruumides on arvestatud, et tööd tehakse 10 tundi päevas, viis päeva nädalas, ning tualettruumides ja köögis võib valgustus põleda kuni neli tundi päevas. Selle tulemusel on saadud tööruumides 26 000 talitustundi, mis on ühtlasi valgustite kogu töötamise aeg 10 aasta jooksul. Selleks, et saada kätte valgusvoo säiletegur f_{LF} , on samuti vaja valgusti enda elueategurit, mille leiab valgusti enda tootelehel. Antud projektis on kõik valgustid, millega on arvatud antud ruumide hooldetegur, elueaga 50 000 h ja elueateguriga L85B10. Elueategur näitab, et 85 protsenti algsest valgusvoost säilib 50 000 h vältel ja 10 protsenti valgusteid ei suuda säilitada 85 protsenti oma valgusvoost.

Valgustite elueategur f_S väljendab valgusallika või valgusti võimalust teatud kindlal ajahetkel veel töötada. Kuna tegemist on bürooga, siis tõrkuv valgusti tuleb kohe esimesel võimalusel koheselt asendada samaväärsete parameetritega valgusti või valgusallikaga. Selle tulemusel, on arvutusse valitud üksikasendus, ehk valemis $f_S = 1$. Kui aga valgustil või valgusallikal on

lubatud ühel või mitmel moodulil tõrkuda, enne kui see täielikult asendatakse, siis tuleb arvutada erali tegur f_S .

Valgusti enda hooldetegur f_{LM} määratakse töökeskkonna puhtuse, selle puhastusintervallide ja valgusti korpuse järgi. Antud lõputöös on tegemist puhta keskkonnaga mille puhastusintervalliks on valitud vähemalt 2 aastat. Kõik valgustid on suletud korpusega, ehk vähemalt IP20 kaitsmeastmega.

Viimaseks osaks valemis on pindade enda hooletegur f_{SM} , mis koosneb pindade peegeldustegurist, keskkonna puhtusest, ning renoveerimissageduseks. Ruumides on valitud peegeldusteguriteks 70/50/20, mis tähendab et vähemalt 70 protsenti valgusest peegeldub lagedest, 50 protsenti seintelt, ning 30 protsenti peegeldub põrandatest. Eelmises lõigus kirjeldati keskkonna puhtust, mis on sama ka antud hooldeteguris ning, renoveerimissageduseks on valitud hooldeteguri tabeli maksimum milleks on kuus aastat.

3.2. Tulemused

Põhitöö kõrvalt on välja aretatud valgustuse standardil põhinev Exceli kalkulaator, mis elimineerib tüütu standardi sirvimise. Standardis leitavad tabelid, mille järgi valitakse valemisse erinevad tegurid, on imporditud tabelitena *Microsoft Excel*-isse, mis läbi erinevate otsimisvalemitega leiab tabelist vastavalt kasutaja sisendile.

Tänu kalkulaatorile, on valitud järgmised parameetrid ning saadud tulemused erinevatesse ruumidesse (Tabel 4). Valgustie elueategur, mis läks ka lõpuks arvutusse, valiti ruumides ruumi põhilise valgusti põhjal, näiteks tööruumides on põhiliseks valgustiks *Matric-G3*, millel on elueateguriks L85B10 ja mille eluiga kestab vähemalt 50 000 h [4].

Tabel 4. Hooldetegurite arvutamiseks valitud parameetrid ja tulemused

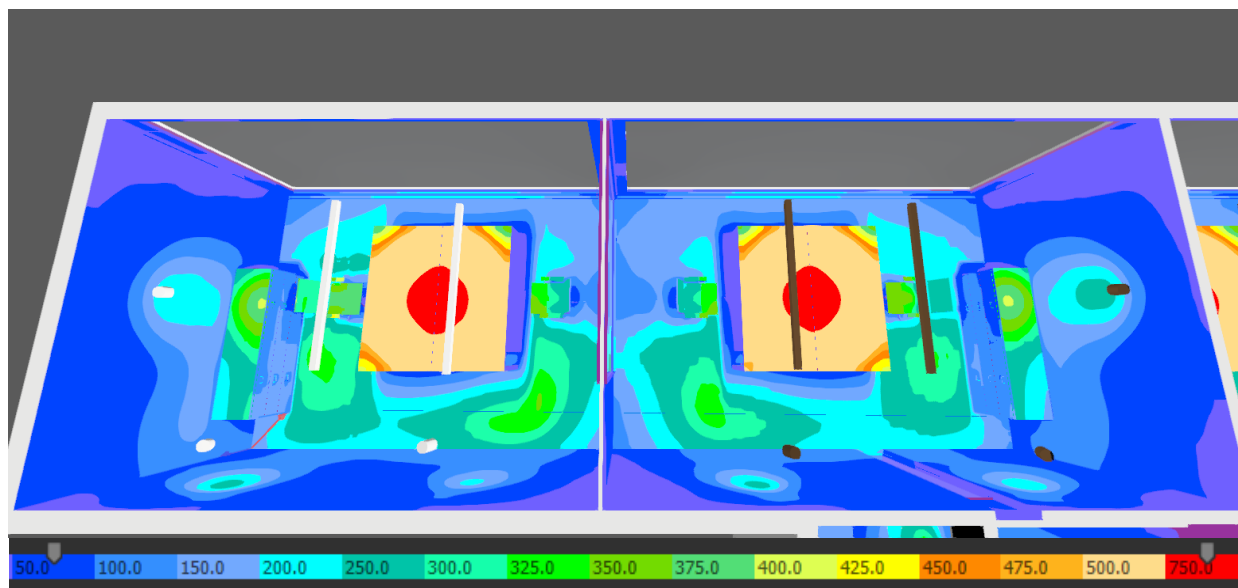
Ruumid	Valitud parameetrid				Hooldetegur
	f_{LF}	f_S	f_{LM}	f_{SM}	f_M
Tööruumid ja alad, koosolekuruumid	0,91	1	0,83	0,95	0,72
Koridorid	0,91	1	0,83	0,95	0,72
WC-d	0,95	1	0,86	0,92	0,75
Köök	0,95	1	0,84	0,92	0,73

4. VALGUSTUSARVUTUSED

4.1. Tööruumid

Tööruumides tuleb keskenduda 0,8 m kõrgusel olevatele tööpindadele, kus võidakse arvutiekraani taga teha tööd kuni 10 tundi päevas. See tähendab, et laud peab standardi järgselt olema valgustatud minimaalselt 500 luksiga ja laua taga istudes ei tohi rägus olla suurem kui 19. Mujal ruumis arvestati 0,8 m kõrgusele valgustiheduseks 300 luksit, mille eesmärgiks on luua keskkond mis aitab paremini keskenduda laua taga tööle. Räguspunktid on arvestatud standardkõrgusega 1,2 m maapinnast.

Tööruumid on sisuliselt kõik sama ülesehitusega, kus toas on üks või kaks töökohta, mis vajavad valgustamist, eelistatavalt väheste valgustitega. Selleks valiti kaks 1502 mm pikkust lineaarvalgustit *Lens louvre* optikaga, mis ripuvad 2,2 m kõrgusel töökohast. Algselt plaanis autor lahendada töökohad vaid ühe rippvalgustiga, kuid probleemiks ilmnes kohe üldine taustavalgus, kus ühe valgustiga säästmise tõi kaasa 2 lisa taustavalguse lisamine, et tagada ühtlus laual. Kohtvalgusteid kasutati tööruumide taustavalguse tagamiseks, suunates need töökohtadest eemale, et mitte paista töötajatele silma kui nad laua taga tööd teevad (Joonis 3)(Tabel 5).

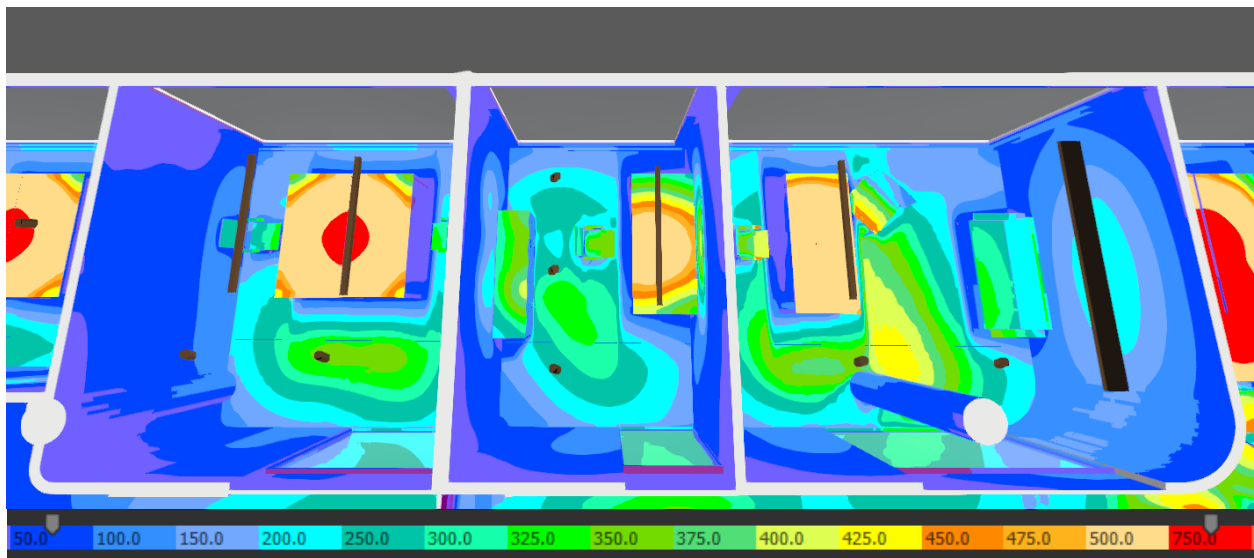


Joonis 3. Vasakult paremale: tööruumide 5 ja 4 valgusarvutused valemvärvides

Tabel 5. Tööruumide 5 ja 4 valgusarvutuste tulemused töökohtadel

Parameetrid	Nõutud	Tööruum 5		Tööruum 4	
		Töökoht 1	Töökoht 2	Töökoht 1	Töökoht 2
Valgustihedused laual, h = 0,8 m	> 500 lx	632 lx	643 lx	630 lx	627 lx
Räigused istekohal, h = 1,2 m	< 19	< 10	< 10	< 10	< 10

Kolmas, teine ja esimene tööruum on võrreldes eelmistega natukene suuremad. Esimeses tööruumis on lisaks veel nn. puhkeala, kus on olemas ka diivan, mis tuli valgustada vastavalt standardile, milleks on 300 luksit. Samuti ei tohi diivanil istudes räigus olla suurem kui 20. Tööruumis number 2 tuli lisaks valgustada ka otsene sein 150 luksit peale, kuna töö tegemise ajal tekitab pime taust ebamugavust ja räigust (Joonis 4)(Tabel 6).



Joonis 4. Vasakult paremale: tööruumide 3, 2 ja 1 valgusarvutused valevärvides

Tabel 6. Tööruumide 3, 2 ja 1 valgusarvutuste tulemused töökohtadel

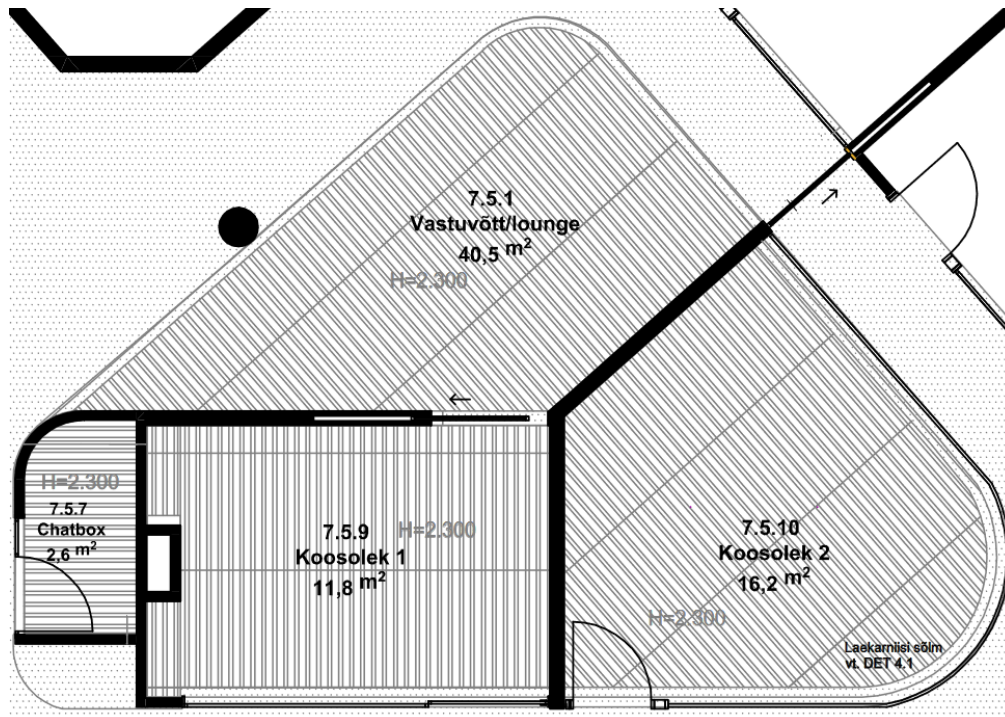
Parameetrid	Nõutud	Tööruum 3		Tööruum 2	Tööruum 1
		Töökoht 1	Töökoht 2	Töökoht	Töökoht
Valgustihedused laual, h = 0,8 m	> 500 lx	616 lx	620 lx	543 lx	705 lx
Räigused istekohal, h = 1,2 m	< 19	< 10	< 10	< 10	< 10

Kõik töökohta valgustid on hämardatud oma maksimum valgusvoost 25 protsenti madalamaks, tagades töökohta standard vähemalt 500 luksit. Pimedal ajal saab valgusteid reguleerida täisvõimsusele, tagades ka laienenud standard töökohtadel, milleks on vajalik 750 luksit laudadele, tagades ka vanematele inimestele piisav valgustihedus. Kohtvalgustid on hämardatud maksimum valgusvoost 50 protsendile. Tõstes laudadel olevat valgustustaset, suureneb ka kohtvalgustite valgusvoog, tagades valgustuse ühtlus, et ei tekiks 450 luksine erinevus laua ja tausta vahel. Kui laua peal tõsta valgustihedus 750 luksit peale, tõuseb taustavalgus ka 60 protsendi võrra, ehk 550 luksit peale.

4.2. Koosolekuruumid

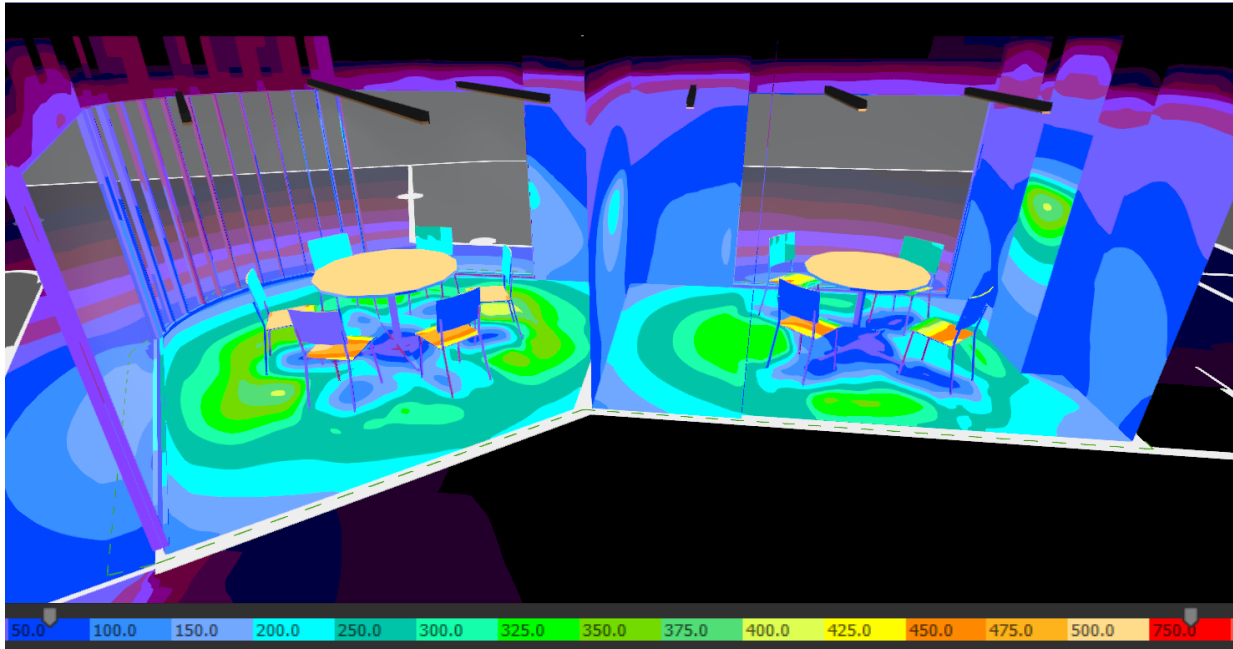
Koosolekuruumides kehtib samaugused valgustuse nõuded mis kontoriruumides, kus 0,8 m kõrgusel oleva laua peale tuleb saada 500 luksit ning räägus peab olema alla 19. Nagu ka mujal kontorisis, kus on tööruumid, arvestati ruumi üldala valgustiheduseks 300 luksit.

Koosolekuruumide 1 ja 2 lae kõrguseks on 2,3 m, kus laeks on puidust ribilagi mõõtudega 38x38 mm ribid, ribivahedega 74 mm (Joonis 5).



Joonis 5. Koosolekuruumides 1 ja 2 olevad puidust ribilaed

Tööruumidesse valitud valgustid on juba parajas mõõdus laiuse ja kõrguse poolest (XYx55x75 mm), et mahutada need puitribide vahele. Sellel põhjusel valiti ka samasugused valgustid koosolekuruumi 1. Koosolekuruumis 2 kasutati küll samasugust valgustit (*Matrix-G3*), kuid 2002 mm pikkust varianti, mis on omakorda ka natukene võimsam. Arvutamisel võeti arvesse laud ja igale istekohale arvutati oma räguspunkt (Joonis 6)(Tabel 7).



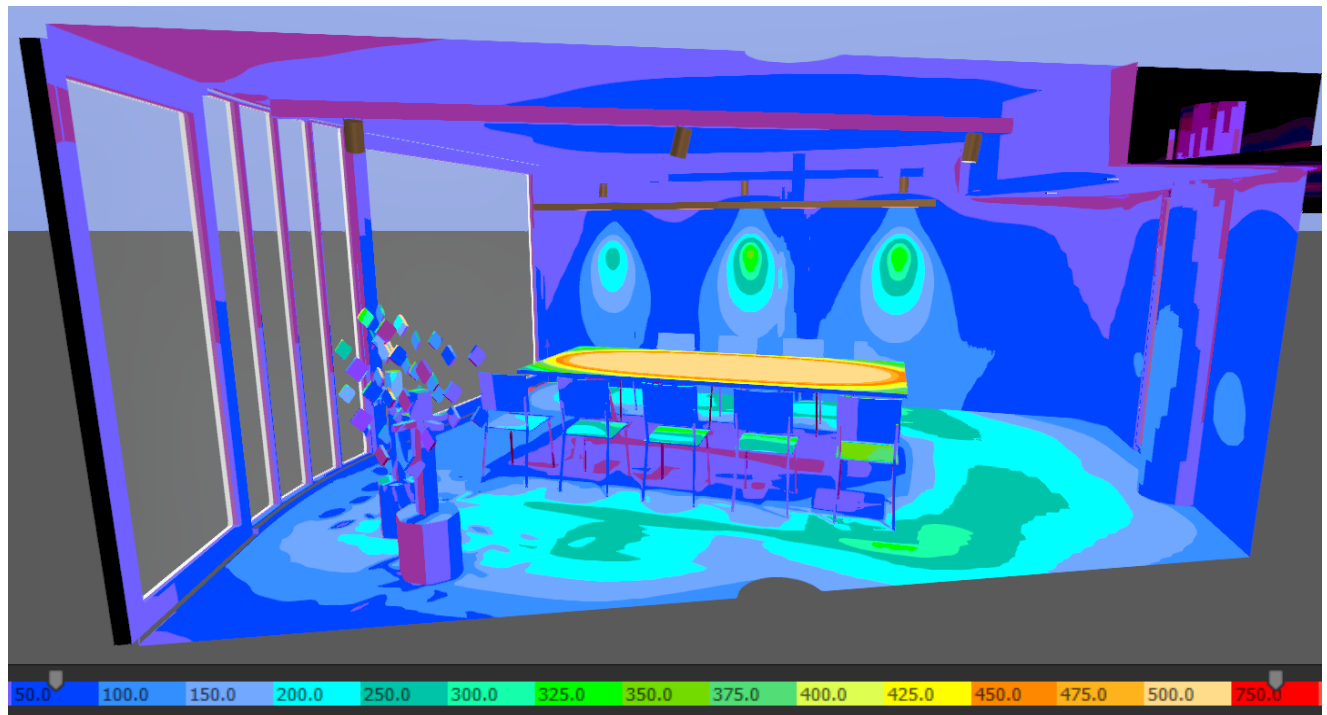
Joonis 6. Vasakult paremale: koosolekuruum 1 ja koosolekuruum 2 valgustusarvutused valevärvides

Tabel 7. Koosolekuruumide 1 ja 2 valgustusarvutuse tulemused

Parameetrid	Nõutud	Koosolekuruum 1	Koosolekuruum 2
Valgustihedused laual, h = 0,8 m	> 500 lx	678 lx	693 lx
Räigused istekohal, h = 1,2 m	< 19	< 10 kuni 18,8	12,5 kuni 18,9

Koosolekuruumis 1 on laua kohal olevad 2 valgustit hämardatud 40 protsendile oma valgusvoost, ning taustavalgustid 70 protsendile.

Kolmandas koosolekuruumis puudub puitribi lagi, mille tõttu oli võimalus kasutada siinisüsteemi taustavalguse tagamiseks. Ukse juures on tavaline kipsriplagi, kuhu paigaldati kaks tavalist süvistatavad kohtvalgustit. Laua kohal kasutati kahte *Matric-G3* valgustit, kuid mikroprismaatilise hajutiga ja mille pikkuseks valiti 1765 mm, et terve 3,2 m pikkune laud standardi järgselt ära valgustada (Joonis 7)(Tabel 8).



Joonis 7. Koosolekuruumi 3 valgustusarvutused valevärvides

Tabel 8. Koosolekuruum 3 valgustusarvutuse tulemused

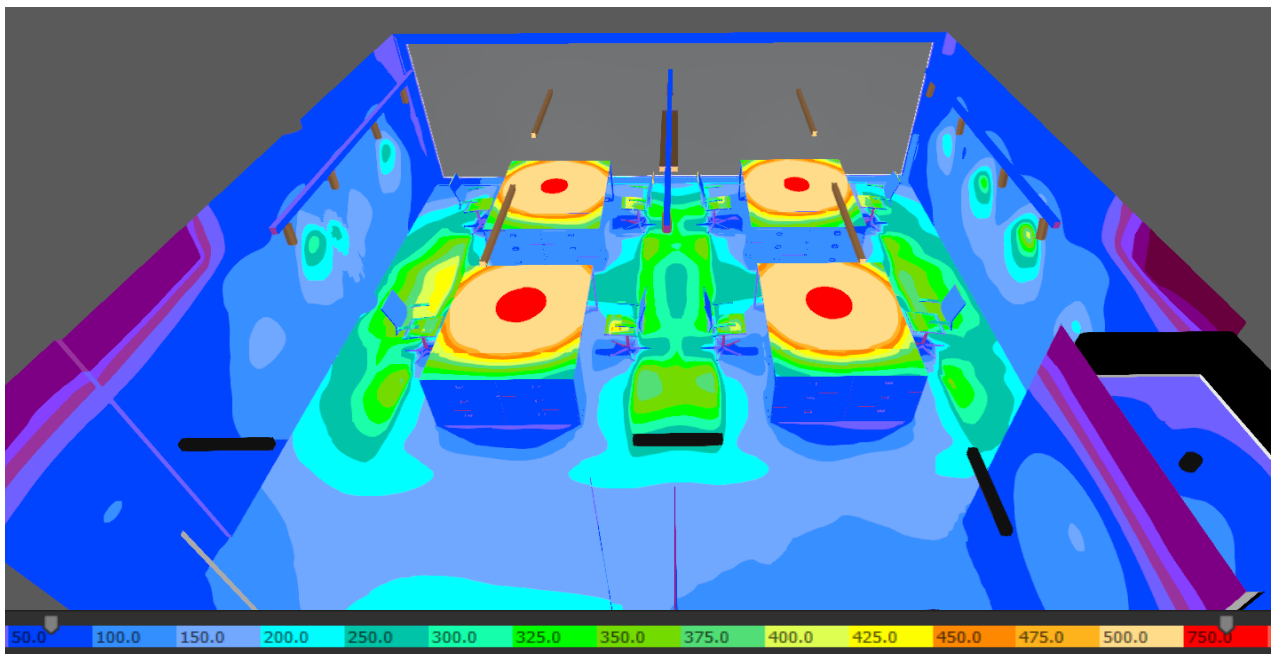
Parameetrid	Nõutud	Koosolekuruum 1
Valgustihedused laual, h = 0,8 m	> 500 lx	535 lx
Räigused istekohal, h = 1,2 m	< 19	18,7 kuni 19

Nagu ka tööruumides, on laua kohal valgustid reguleeritud 90 protsendile oma valgusvoost ja siinil olevad taustvalgustid hämardatud 50 protsendile, samuti ka ripplae sees olevad süvistatud kohtvalgustid.

4.3. Avatud alad ja koridor

4.3.1. Avatud tööala 1

Koridorides peab olema valgustihedus põrandal vähemalt 100 luksit ühtlusega 0,40, ning kuna koridorides ei tehta tööd, ei mängi rütmis seal suurt rolli, olles nõue alla 28. Vastuvõtu- ja puhkealal on keskendatud hubasusele ja valgusmugavusele, ehk 300 luksile ja rütmisele alla 20. Laudade kohale valiti seekord vaid üksikud võimsamad valgustid, mis valgustavad ära mõlemad töökohad. Kuna avatud tööalades on rohkem ruumi taustavalgustitele, polnud vaja igale tööpinnale oma valgustit, hoides kokku valgustite kogust. Taustavalguse tagavad 2,5 m kõrgusel siinidel olevad valgustid, kus seinte äärde valiti kohtvalgustid ning ruumi keskel ka mõned kohtvalgustid ning ka üldala valgusti (Joonis 8)(Tabel 9).



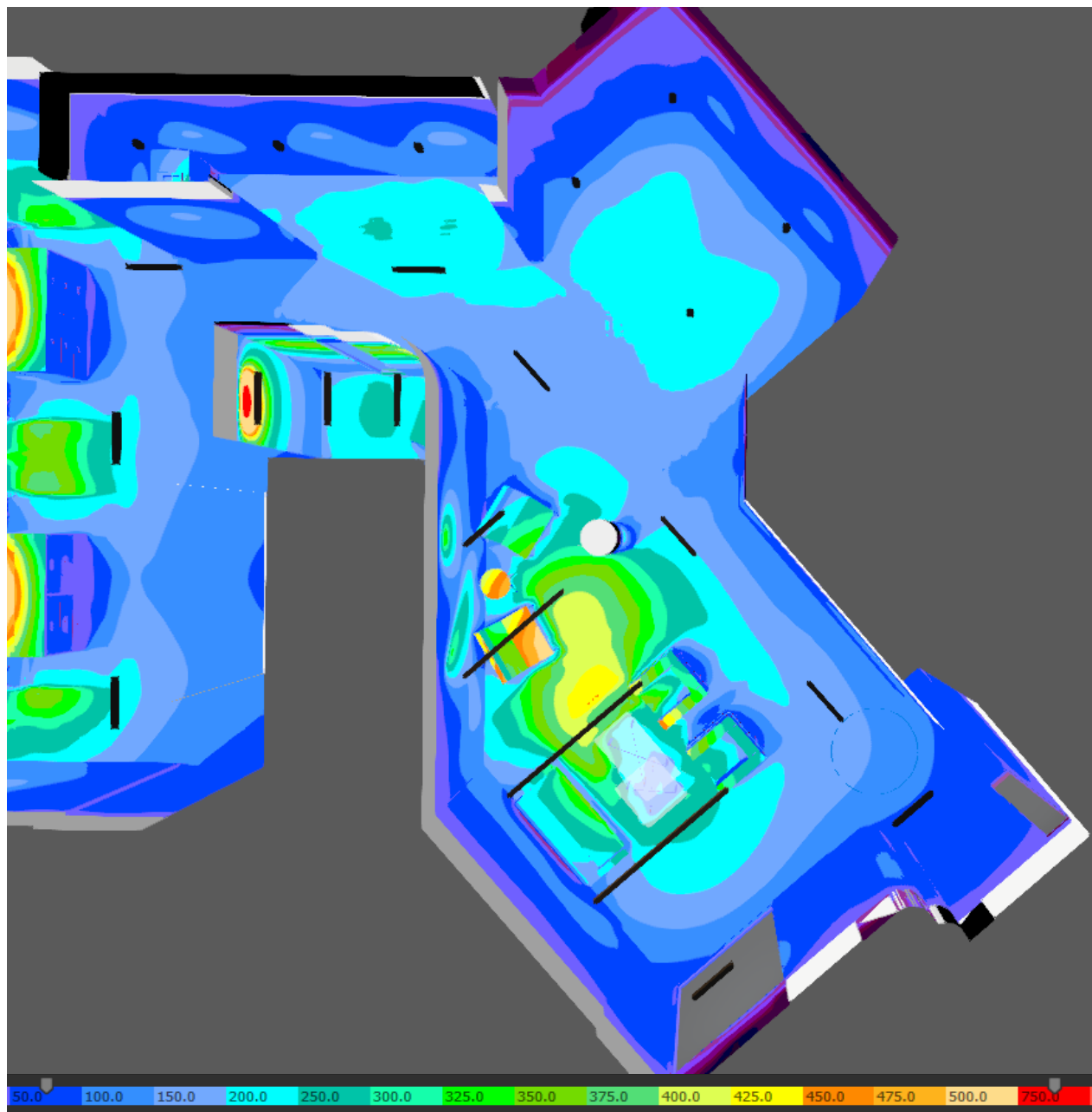
Joonis 8. Avatud tööala 1 valgustusarvutused valevärvides

Valgustid töökohtadel on hämardatud 60 protsendile oma valgusvoost, kogu taustavalgustus aga 70 protsendile, jättes palju ruumi valgusteid üles reguleerida kui vajadus esineb.

Tabel 9. Avatud tööala 1 valgustusarvutuse tulemused

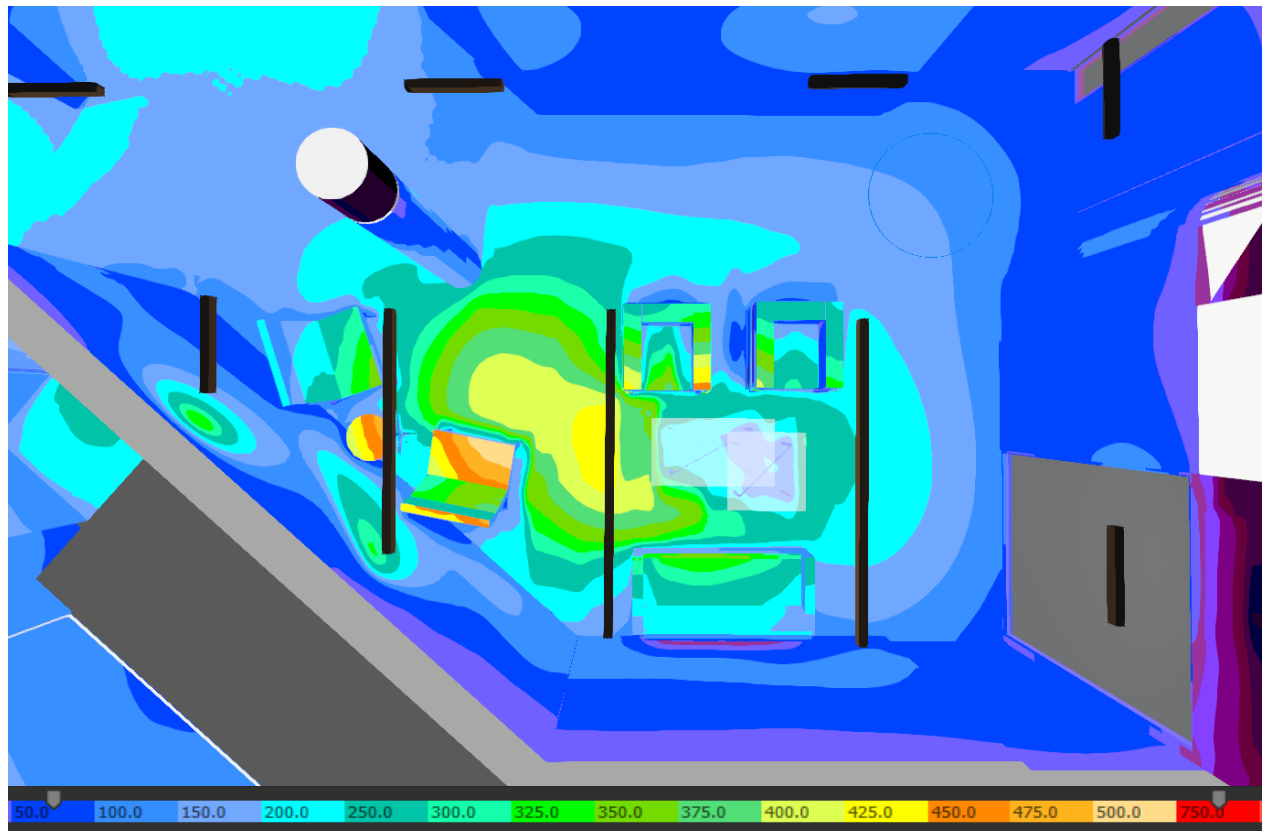
Parameetrid	Nõutud	Avatud tööala 1			
		Töökohad 1 ja 2	Töökohad 3 ja 4	Töökohad 5 ja 6	Töökohad 7 ja 8
Valgustihedused laual, h = 0,8 m	> 500 lx	599 lx ja 639 lx	577 lx ja 603 lx	628 lx ja 591 lx	594 lx ja 587 lx
Räigused istekohal, h = 1,2 m	< 19	16,1 ja 16,3	16,1 ja 15,5	15,3 ja 16,8	17,6 ja 16,6

Koridorid, mis viivad esimese avatud tööalani, on valgustatud miinimum vajalikule valgustihedusele, milleks on põrandal 100 luks. Valgustid paigaldati lineaarselt mõõda koridore süvistatuna lakke 2,3 m kõrgusele, et tekiks selline nn. kõndimistee. Kõik koridorides olevad lineaarsed valgustid, *Matric-G3*-ed, töötavad täisvõimsusel kui need on kasutuses. Kohtvalgustid, mis asuvad sissepääsu ja tualettruumide kohal, on reguleeritud poolele oma võimsusele, kuna muidu tekivad põrandale selgesti märgatavad suure valgustihedusega laigud (Joonis 9).



Joonis 9. Avatud tööala 1, sissepääsu ja tööruumidesse viivate koridoride valgustusarvutused valevärvides

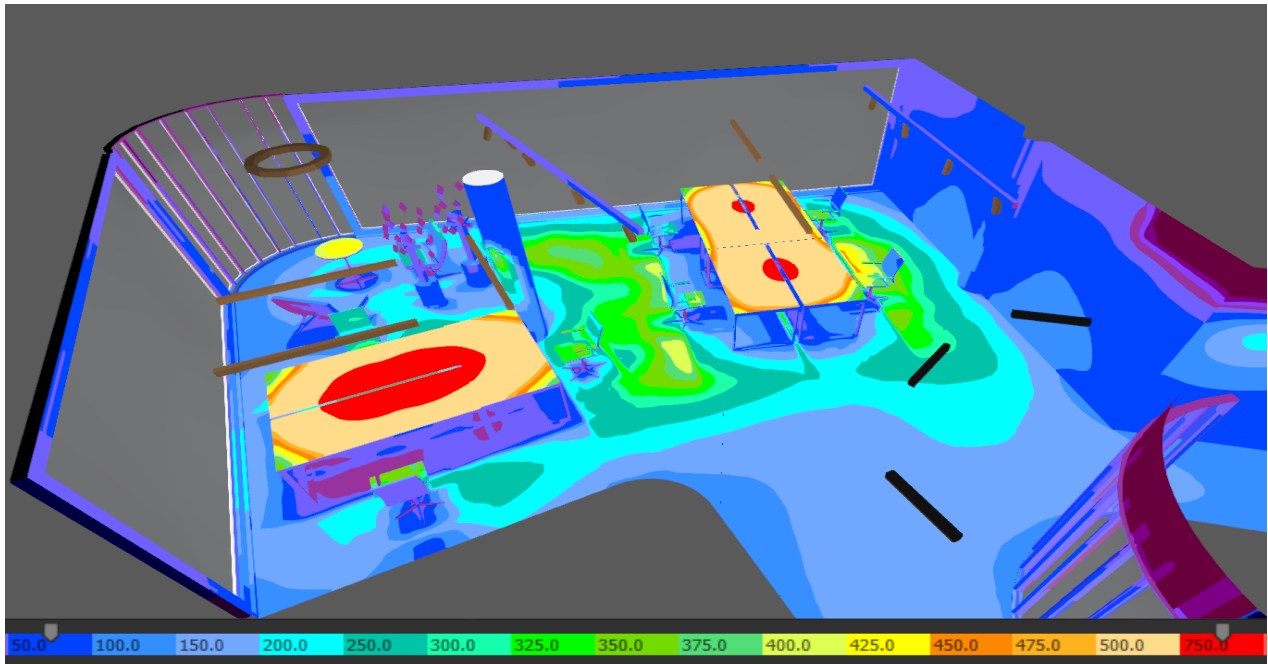
Puhkealal on kasutatud erinevaid *Matric-G3* perekonda kuuluvaid valgusteid *Lens louvre* hajutiga, et tagada 300 luksine valgustihedus ja madal rägus. Puhkealal on samuti puitribi lagi, mille vahele paigaldati valgustid. Kuna puhkealadel pole otsest pinda, on valgustusarvutustes arvestatud üldise alaga 0,6 m kõrgusel (Joonis 10). Tulemus on keskmiselt 315 luksit, istekohtade rägustega < 10 kuni 13,6.



Joonis 10. Puhkeala valgustusarvutuse tulemused valevärvides

4.3.2. Avatud tööala 2

Teises avatud tööalas on ülesehitus sama põhimõttega, kus töökohtadel on üks valgusti ning taustvalguse tagavad siinidel olevad kohtvalgustid. Erandiks on järgneval joonisel vasakpoolsed töökohad, kus nende erineva planeeringu tõttu kasutati laudade kohal kolme valgustit, sama süsteemiga nagu tööruumides olevad valgustid (Joonis 11). Põhjuseks, et ühe valgustiga ei olnud võimalik tagada töökohtade ümbrise valgustihedus. Ruumis on ka väike puhkeala toolide ja lauaga, kus lihtsuse mõttes valiti üks dekoratiiv ringvalgusti 2,4 m kõrgusele (Tabel 10). Nagu ka esimeses tööalas, on valgustid laudade kohal hämardatud maksimumist 70 protsendile ja taustvalgustid 50 protsendile. Erandiks jällegi kolmeline töökoht, kus valgustid töötavad 75 protsendil.

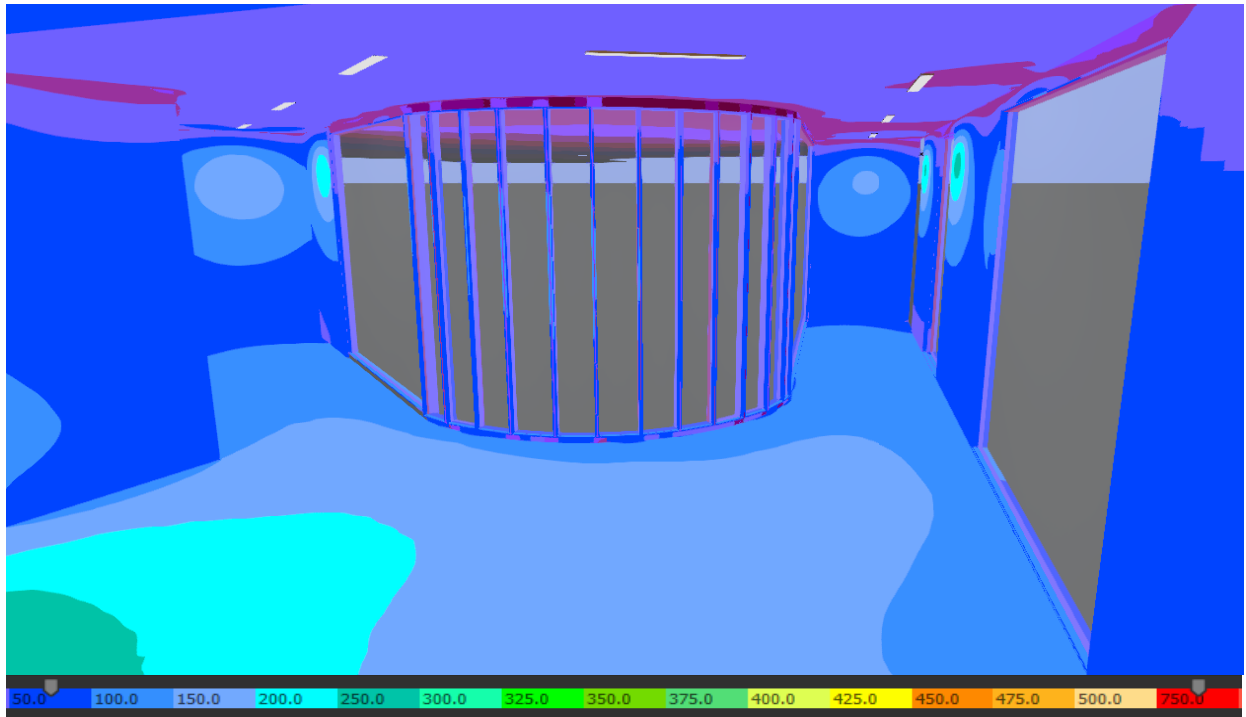


Joonis 11. Avatud tööala 2 valgustusarvutused valevärvides

Tabel 10. Avatud tööala 2 valgustusarvutus tulemused

Parameetrid	Nõutud	Avatud tööala 2			
		Töökohad 1 ja 2	Töökohad 3 ja 4	Töökohad 5 ja 6	Töökoht 7
Valgustihedused laual, h = 0,8 m	> 500 lx	576 lx ja 600 lx	608 lx ja 584 lx	687 lx ja 687 lx	614 lx
Räigused istekohal, h = 1,2 m	< 19	18 ja 19	18,8 ja 17,6	12,5 ja 13,3	18.9

Koridori polnud palju valgusteid vaja valida, kuna nõue standardi järgi on väike, kõigest 100 luksit. Piisab vaid seitsmest süvistatavast valgustist, et tagada piisav valgustatavus. Samuti ei ole vaja seinu valgustada nii põgusalt, kuna enamuse on klaasist (Joonis 12).



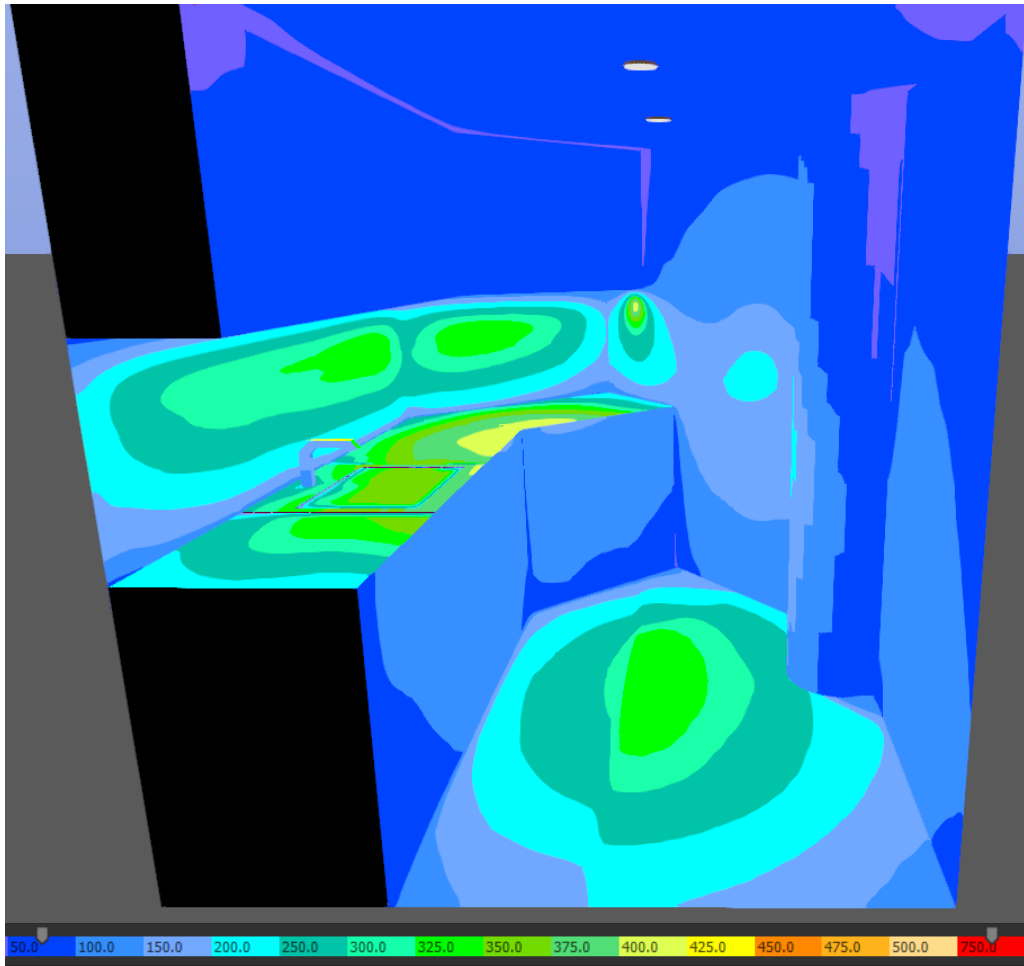
Joonis 12. Avatud tööalasse 2 viiv koridori valgustusarvutuse tulemus valevärvides

4.4. Köök, WC-d ja kõneboks

Kuna köök on väike, kõigest 5 m², kus kipslae kõrguseks on 2,2 m, sai kogu ala lahendatud vaid kahe süvistatava kohtvalgustiga, samadega mis kasutati teistes ruumides ja olles ka hämaradatud poole võrra vähemaks. Standardi järgi, peab sööklastes ja teeköökides olema tööpindadel kõigest 200 luksi ühtlusega 0,40 [1]. Kuna köögis lauda ei ole kus peal saab süüa, on tööpinnaks valitud 0,9 m kõrgusel olev kapipind. Kliendi soovil on ülakappide sisse pandud ka süvisprofiilis leedribad, mille tulemusel sai tööpinnale piisava valgustiheduse (Joonis 13). Selleks valiti *Barthelme* poolt toodetud leedriba *LEDLIGHT FLEX 16 8p STANDARD 500 2.0* [13] (Tabel 11).

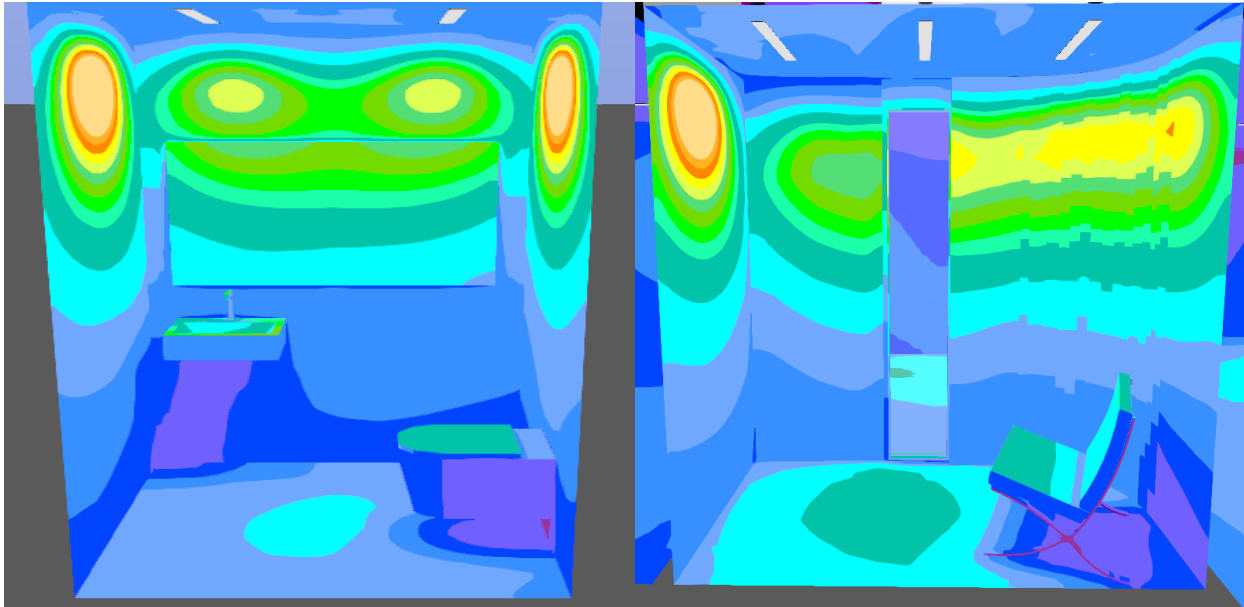
Tabel 11. *Barthelme* leedriba tehnilised andmed

Sisendpinge, V	Valgusvoog, lm/m	Võimsus, W/m	Värviesitusindeks Ra	Värvustemperatuur, K
24	500	4,8	>80	3000



Joonis 13. Köögi valgustusarvutuse tulemused valevärvides

WC-des kasutati tüüplahendust, kuna kõik ruumid on üksteisega sarnased. Nagu ka koosolekuruumides ja kõneboksis, on laes 2,2 m kõrgusel puit ribilagi, mille vahele paigaldati valgustid. Analoogselt köögiga, on tualettruumides vajalik pörand valgustada 200 luksiga ühtlusega 0,40 ja räägus peab olema alla 25-e. WC ruumides on ka peegel, mis tuli valgustada vastavalt standardile, milleks on vähemalt 150 luksit peeglipinnal. Sama valgustatavuse nõue kehtib ka kõneboksis, kus pörandal 200 luksit ja räägus alla 25-e, kuna kõneboksis viidetakse lühiajaliselt, mitte ei tehta tööd (Joonis 14).



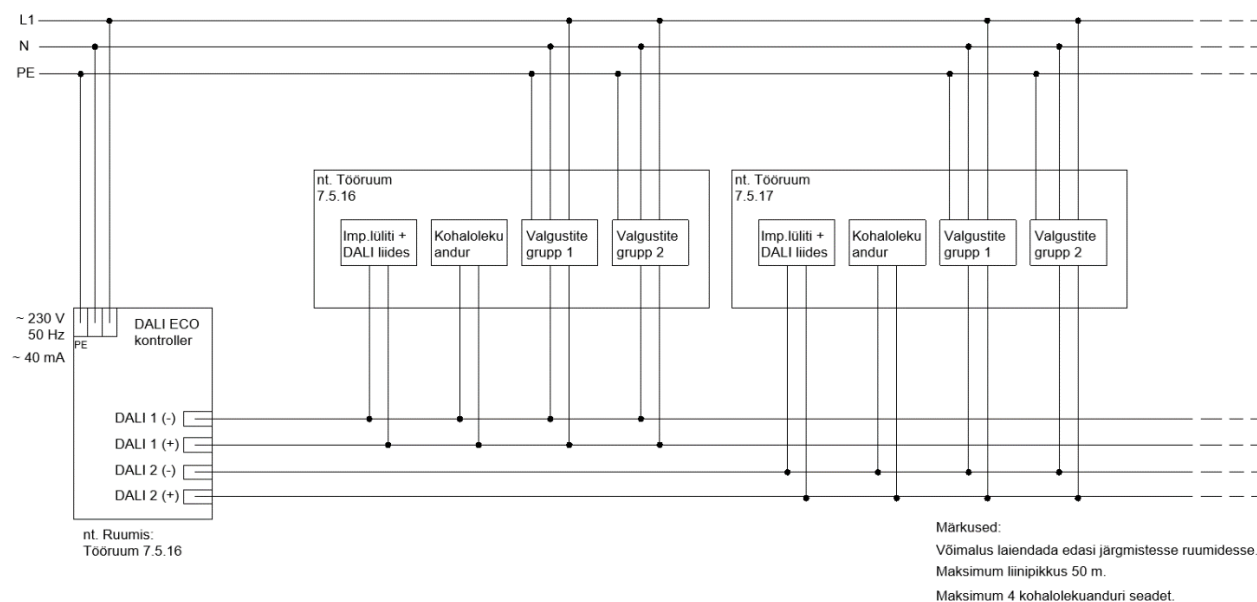
Joonis 14. Vasakul: WC-de tüüplahendus; Paremalt: kõneboksi valgustuslahenduste arvutused valevärvides

5. VALGUSTUSE JUHTIMINE

5.1. DALI-2 süsteem

Digital Adressable Lighting Interface (edaspidi *DALI* või *DALI-2*) on protokoll, mis lubab erinevaid valgusteid juhtida ja reguleerida digitaalselt läbi kontrolleri ja valgustites olevate liidestega. *DALI-2* kohta kehtib standard, mille järgi on kõik tooted, mis kasutavad seda süsteemi, standardiseeritud [14]. Valgusteid saab soetada kas tavalise lülitussüsteemiga ON/OFF või koos *DALI* liidesega. Valgustitele saab määrata eraldi või gruppidega aadresse, mille tulemusel saab juhtida valgusteid nii kuidas need on programmeeritud, samuti saab ka kogus süsteemi läbi *bluetooth*-i seadistada ja juhtida [15]. Oma lihtsuse ja kättesaadavuse tõttu on tänapäeval *DALI* süsteemide kasutusele võtmine märkimisväärselt suurenenud. Süsteem aitab ära hoida liigsete valgustite töötamise ruumides, kus kedagi ei ole või midagi ei toimu, reguleerides valgusteid automaatselt vastavalt seadistustele.

Projekti valiti ruumipõhine *DALI ECO CONTROL* kontrolleri, kus igal ruumil on oma moodul seinas ära peidetud [16]. Ruumipõhine aitab ära hoida kilpidest kuni valgustiteni kaablite paigaldamise, kuna kaablid tuleb vedada vaid kohalikest kontrolleri kuni valgustiteni. Kontrolleri on võimalus ühendada kokku maksimum 64 valgustit, millest neli kasutab ära kohalolekuandurid. Selle tulemusel sai mitu ruumi ühendada ühe kontrolleri alla.



Joonis 15. DALI-2 süsteemi ühendusskeem

Selleks, et realselt teada mitu ruumi saab ühendada ühe kontrolleri alla, tuli vaadata kontrolleri maksimum *DALI* liini voolude piirangut. Antud kontrolleri, *DALI ECO*, maksimum ühe liini vool on 64 mA ja kahe liini maksimum kokku on 96 mA [16]. Näiteks, on ühes tööruumis kaks seadet: *DALI Coupler* ehk liides ja kohalolekuandur. Samuti on ruumides viis valgustit *DALI* liidestega. Seadmete ja valgustite andmelehtedel on välja toodud, kui palju üks seade võtab voolu, ning nende kokku arvutamisel saab ühe ruumi kogu voolu tarbimise ühel *DALI* liinil. Ühe tööruumi arvutatud liinivooluks tuli ligikaudu 32 mA, mis tähendab, et ühele liinile saab ühendada kaks ruumi, ning teisele liinile saab ühendada ühe ruumi, kokku kolm tööruumi mis kuuluvad ühe kontrolleri alla.

5.2. Juhtimine läbi *DALI-2* protokolliga ja lülitite

Põhiline valgustite juhtimine toimub läbi *DALI-2* kohalolekuandurite, mis tuvastavad ära inimese liikumise ja kohaloleku. Lisaks projekteeriti veel kõikidesse tööruumidesse, koosolekuruumidesse ja kööki 1 m kõrgusele impulsslülitid, mis võimaldavad töötajatel reguleerida valgustust just endale sobivale tasemele. Et tagada impulsslülitite reguleerimise võimalus, on lülititele lisatud *DALI-2 Coupler* ehk liides, mis lubab lülitid integreerida *DALI-2* süsteemi. Selleks valiti OSRAM-i poolt pakutavad *DALI-2* liidesed [17](Joonis 16). Liidesed tõlgendavad impulsslülitite poolt tuleneva väljundi, (impulsside kestvuse aja) *DALI-2* süsteemile aru saadavaks vormiks, mis edastatakse kogu ühenduses olevale süsteemile käsklusena, et kuidas valgustit reguleerida.



Joonis 16. *DALI-2* liides OSRAM-ilt [17]

Antud projektis valiti tööruumidesse ja -aladesse, koosolekuruumidesse ja kööki *STEINEL Group*-i poolt toodetud PD-8 ECO DALI-2 [18] kohalolekuandur (Joonis 17), millel on lisaks veel valgussensor sisse ehitatud, mis suudab tuvastada päevavalgust ja vajadusel reguleerida valgustihedust, kui see on ühendatud *DALI* süsteemiga. Kuna tööruumides on valge 2,8 m kõrgune konstruktiivne vahelagi, peavad kliendi soovil kõik lakke paigaldatud seadmed olema valget värvi. Kohalolekuandurid on paigaldatud töökohtade kohale ja tänu nende ja 6x6 meetrilisele kohaloleku tuvastusalale, paigaldati tööruumidesse ja avatud alade laudade kohale 1 kohalolekuandur (Lisa 1).

Koridorides kasutati sama firma poolt toodetud spetsiaalselt koridoridele loodud kohalolekuandurit Dual HF DALI-2 [19] (Joonis 17). Koridoridesse valiti samuti kohalolekuandurid põhimõttel, et juhul kui mingi töötaja peaks kellegiga juttu ajama jääma koridoridesse, siis valgustid jääksid põlema ja ei jätaks töötajaid pimedusse.

Tualettruumidesse ja kõneboksi paigaldati *STEINEL*-i poolt toodetud ON/OFF variandiga kohalolekuandur *IR Quattro MICRO 6m* [20] (Joonis 17). Valgustust otseselt pole vaja juhtida läbi *DALI* süsteemi nendes ruumides, kuna nendes ruumides viibitakse vähe ja sujuvat valgustuse juhtimist pole tarvis seal. Samuti ei mõjuta neid ruume ka päevavalgus. Andur paigaldati WC-des puitribi lae liistude vahele ja köögis 2,2 m kõrguse perforatsioonitud akustilise kipslae sisse süvispaigaldusena.



Joonis 17. *STEINEL*-i multiandurid vasakult paremale: *PD8 ECO DALI-2*, *Dual HF DALI-2* ja *IR Quattro MICRO 6m* [18] [19] [20]

6. PÄEVAVALGUS

6.1. Arvutuse lähteandmed

Kontoriruumides olevate akende tõttu on päevavalgus suur osa ruumidesse paistvast valgusest päevasel ajal. Projekti valitud kohalolekuanduritel, täpsemini kontoriruumides olevatel, on sisse ehitatud valgussensor, mis tuvastab pinnasele kiirgava valgustiheduse. Vastavalt aastajale ja pilvisusele, on tupp sissetungiv valguvoog erinev. DIALux EVO rakendus pakub tavalistele valgusarvutustele lisaks veel päevavalguse arvutamise võimalust. Arvutused on tehtud iga aastaaja pööripäevadel, kus suvine ja talvine pööripäev märgib päikese kõrgeimat ja madalaimat punkti põhjapoolkeral, kus päevad on kõige pikemad ja lühemad. Sügisene pööripäev märgib päikese liikumist põhjapooleralt lõunapoolkerale ja kevadine vastupidist. Päevad on põhja- ja lõunakeral sama pikad sellel ajal.

Arvutamistel kasutati järgmisi pööripäevade kuupäevi ja kellaagegu (Tabel 12):

Tabel 12. Pööripäevade kuupäevad ja kellaajad [21]

Pööripäev	Kuupäev	Kellaeg
Kevadine	19. märts 2024	12:00
Suvine	20. juuni 2024	12:00
Sügisene	22. september 2024	12:00
Talvine	21. detsember 2024	12:00

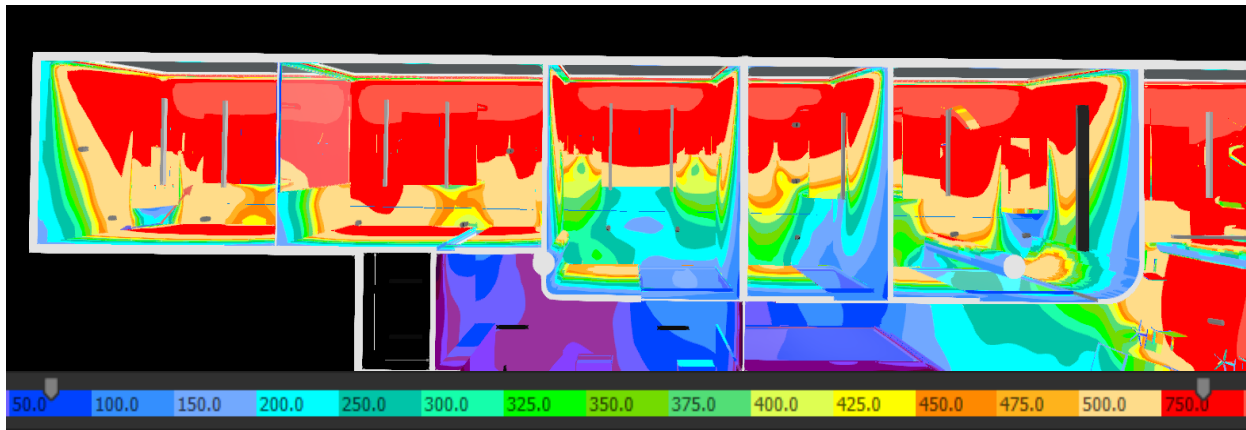
6.2. Päevavalguse arvutused

6.2.1. Märts

Arvutused annavad hea ülevaate tubadesse sisse paistvast valgusest, mille tulemusel saab sätestada andurite abil valgustuse juhtimise vastavalt valguse vajadusele ruumides. Arvutustes on eeldatud, et kaardinad ei ole kasutusel.

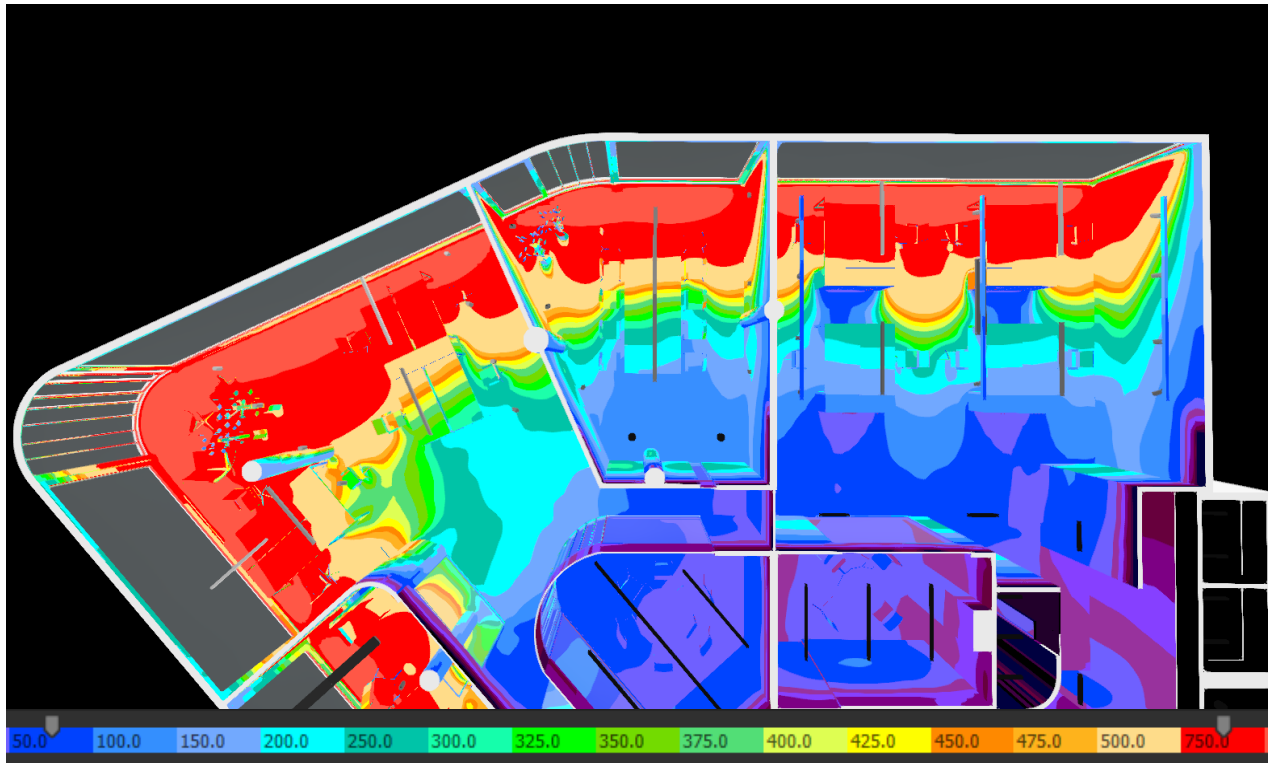
Järgneval joonisel (Joonis 18) tuleb välja, et lõunasel ajal on tänu välisvalgusele juba üle 750 luksit tööruumide laudade peal tagatud, mille tulemusel saab valgustid üldse väljas hoida.

Ainukesed valgustid mis vajavad natukene rohkem reguleerimist, on taustavalgustid, mis tagavad valgustuse ühtluse.



Joonis 18. Päevavalgus pilvisel ajal 19. märtsil kell 12:00, hoone idapoolne osa

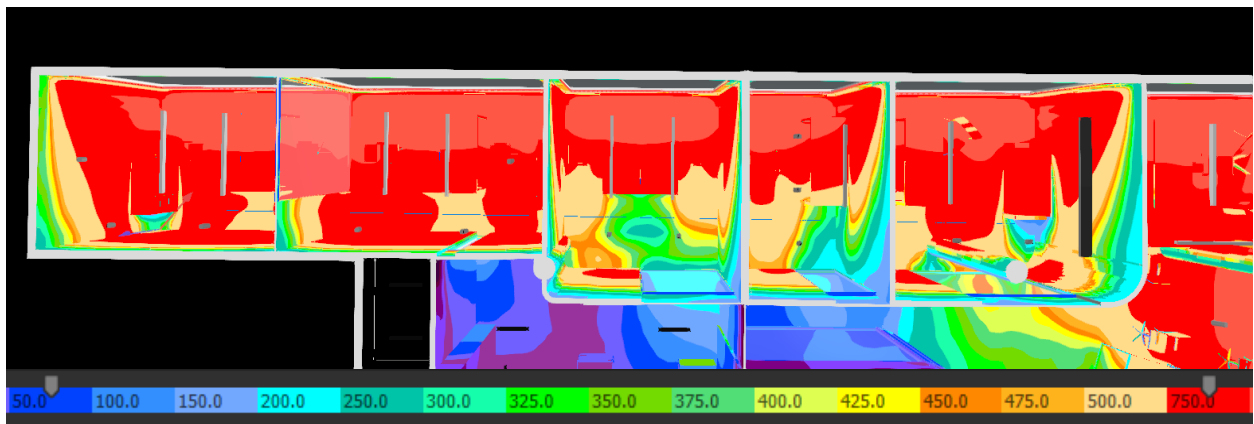
Peaaegu sarnane olukord on ka hoone lõunapoolsel osal. Sisse tuleva päevavalguse tõttu on valgustatud enamus töökohti kuid mitte kõik, mille tõttu saab akna äärsed valgustid reguleeritud nulli lähedale (tänu *DALI-2* poolt sätestatud valgusti gruppidega), aga toa keskel olevad reguleerida piisavale tasemele, tagades tagumistele töökohtadele piisav valgustihedus laudadele (Joonis 19).



Joonis 19. Päevavalgus pilvisel ajal 19. märtsil kell 12:00, hoone lõunapoolne osa

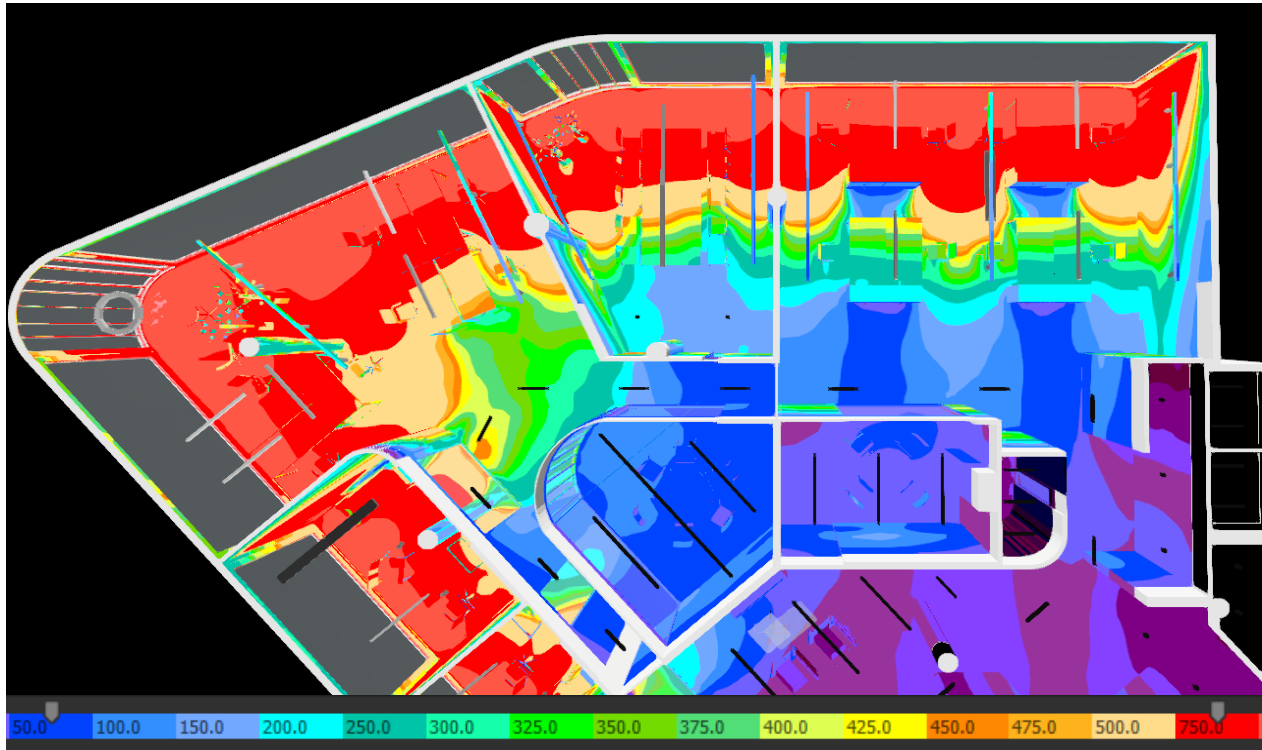
6.2.2. Juuni

Juuni on kõige päikeserohkem kuu aastas, mil päike on kõrgel, kõige eredam ja päevad on pikimad. Isegi pilvisel ajal on näha, kui palju päevavalgust realselt tubadesse paistab (Joonis 20), tagades juba ise kõikides tööruumides piisava valgustuse. Selle tulemusel võib valgustid koguni üldse välja lülitada, säästes tohutult energiakulu pealt.



Joonis 20. Päevavalgus pilvisel ajal 20. juunil kell 12:00, hoone idapoolne osa

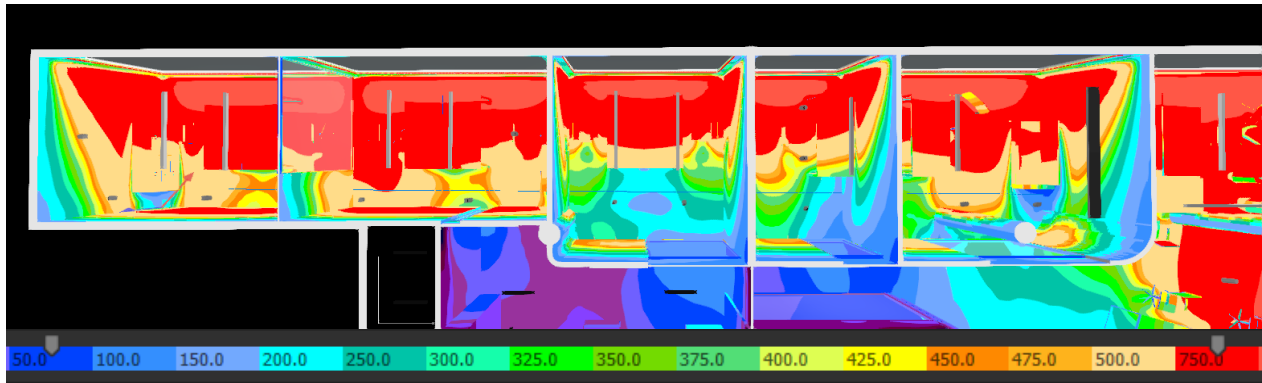
Juunikuu ereda päikesevalguse tõttu ei ole vajalik avatud tööalade koridoride valgusteid, kuhu päevavalgus ulatub, ka nii pingsalt kasutada, kui keegi peaks seal liikuma. Päevavalgus tagab juba ise standardi vajaliku 100 luksi ära. Selle tulemusel võivad töötada ainult pooled valgustid (viis valgustit kümnest), mis avatud tööaladeni viivad (Joonis 21).



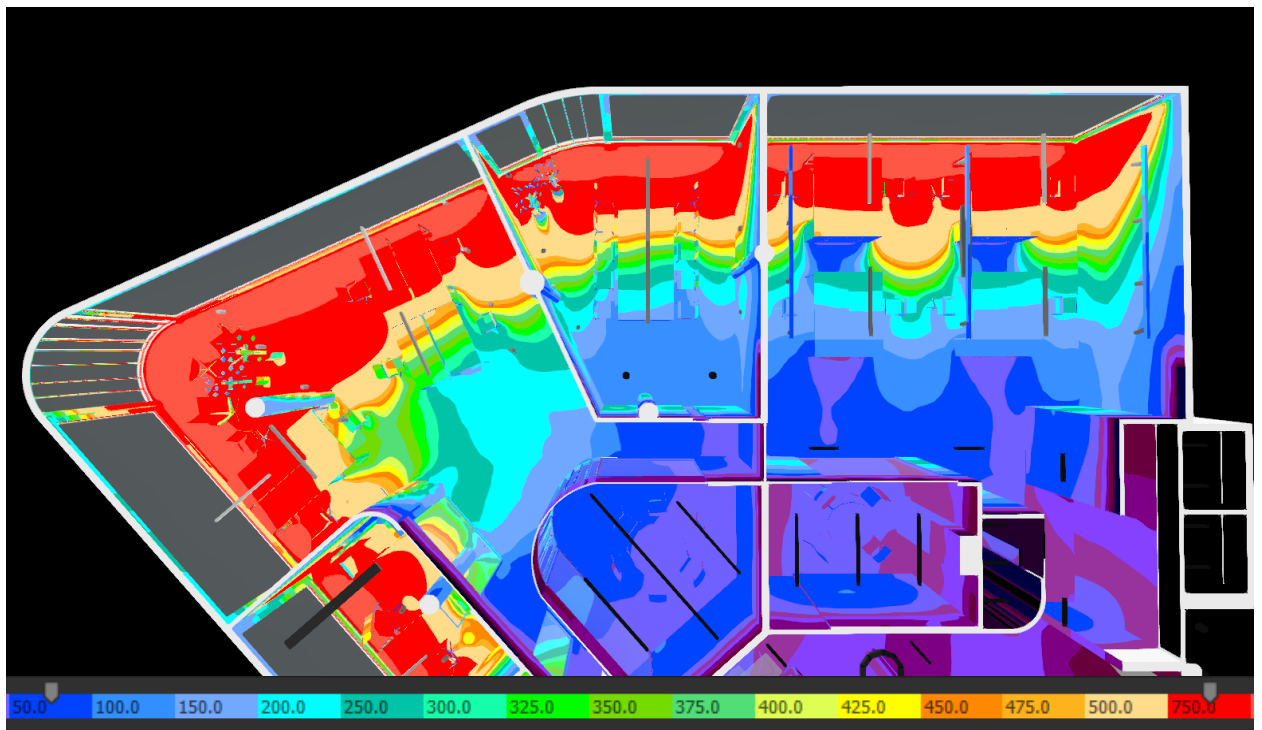
Joonis 21. Päevavalgus pilvisel ajal 20. juunil kell 12:00, hoone lõunapoolne osa

6.2.3. September

Septembris on sisuliselt sama olukord nagu märtsis, kus valgustid tööruumides võivad töötada ainult mõnel protsendil oma võimsusest, kuna valgust tuleb tuppa piisavalt (Joonis 22)(Joonis 23).



Joonis 22. Päevavalgus pilvisel ajal 22. septembril kell 12:00, hoone idapoolne osa

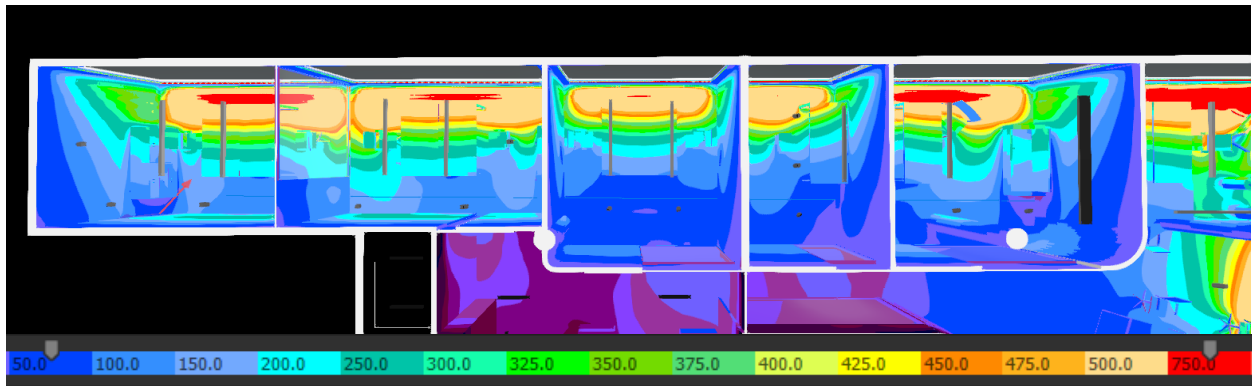


Joonis 23. Päevavalgus pilvisel ajal 22. septembril kell 12:00, hoone lõunapoolne osa

6.2.4. Detsember

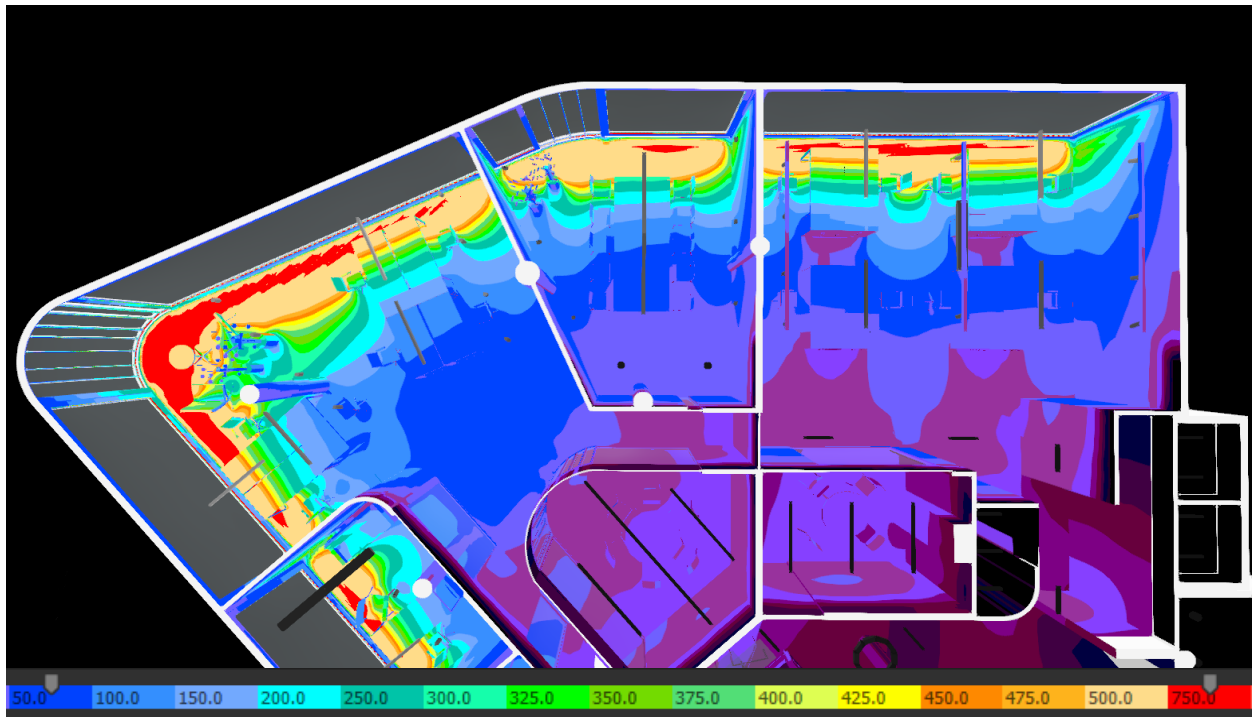
Kõige vähem valgust on detsembris, eriti pilvisel ajal. Selle tõttu tuleb valgustied reguleerida nõutud tasemele, et tagada piisav valgustihedus töökohtadele (Joonis 24)(Joonis 25). Talvised

kuud on meil kõige päikesevaesemad kuud, mistõttu töötavad valgustid töökohtadel peaaegu kogu aeg. See omakorda mõjutab ka kõige rohkem aastast elektrienergia tarbimist.



Joonis 24. Päevavalgus pilvisel ajal 22. detsembril kell 12:00, hoone idapoolne osa

Vähene päevavalgus mõjutab ka avatud tööalades koridore, kus järgneval joonisel (Joonis 25) lillades alades on valgustihedus alla 50 luksi, mis tähendab valgustite reguleerimist peaaegu maksimum võimsuseni.



Joonis 25. Päevavalgus pilvisel ajal 21. detsembril kell 12:00, hoone lõunapoolne osa

6.3. Päevavalguse mõju aastasele elektritarbimisele

Kui valgustid on pidevalt töös, mõjutab see oluliselt elektritarbimist. Selle tõttu tuleb kasutada päevavalgust maksimaalselt ära. Reguleerides valgusteid vastavalt päevavalgusele, hoiaks see kõvasti kokku elektrikulusid ja olles ka samas ajal keskkonnasõbralikum.

Valgustite aastase elektritarbimise saab määratleda vastavalt valemile (2):

$$E = P \cdot t \cdot n , \quad (2)$$

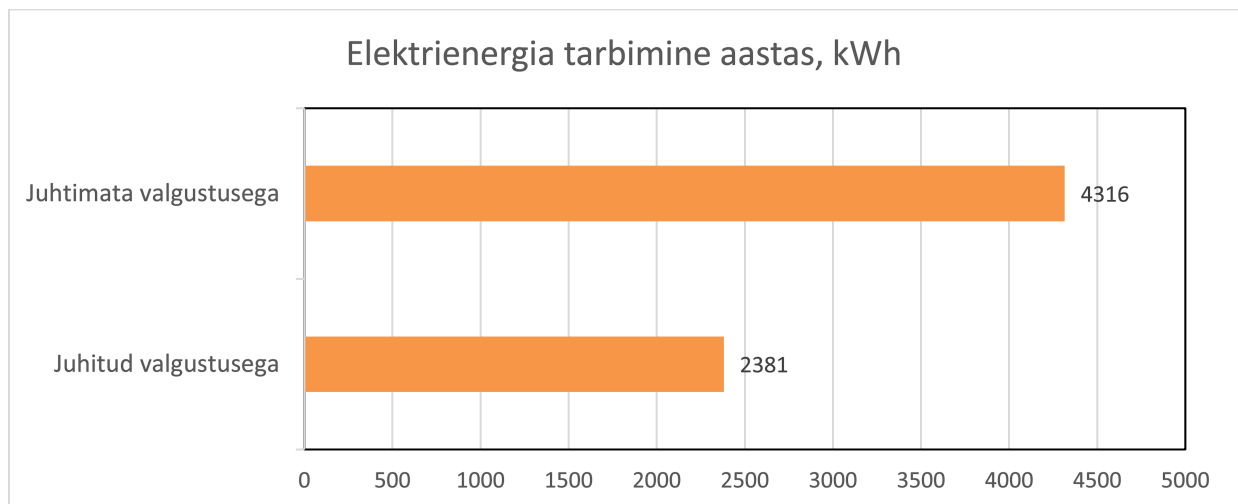
kus E – tarbitud elektrienergia, kW/h;

P – installeeritud koguvõimsus, kW;

t – talitlusaeg, h;

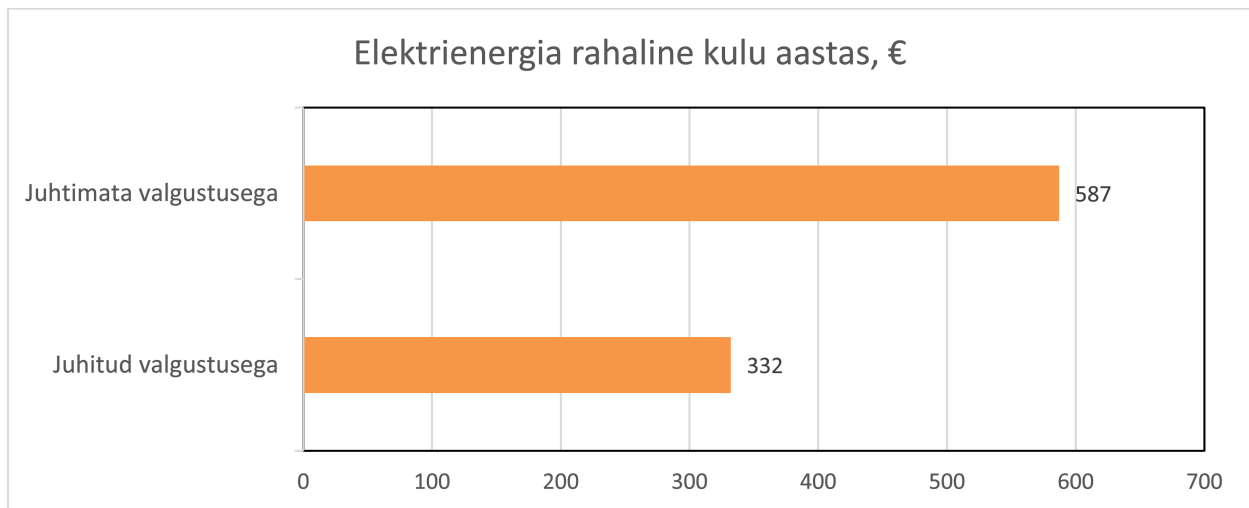
n – üheaegsustegur.

Hooldeteguri peatükis mainiti, et kontoris tehakse tööd 10 tundi päevas ja 5 päeva nädalas. Aastase talitusaja arvutamise tulemuseks tuli äärmiselt 2600 tundi aastas. Üheaegsusteguriks valiti 0.7, võttes arvesse erinevaid hetki, kus valgustid ei pruugi põleda, nagu tööliste haigestumine, puhkamine või muud hetked, kus ruumis valgusteid ei kasutata. Tänu valemile, on arvatud ligikaudne aastane elektritarbimine ilma valgustite päevavalguse juhtimiseta, kogu büroopinnal 4316 kWh aastas. Kui aga valgusteid vastavalt kontorisse paistva päevavalguse järgi reguleerida, siis on tulemuseks ligikaudu 2381 kWh aastas, mis on märkimisväärselt suur vahe (Joonis 26), olles 1935 kWh aastas säästlikum, kui ilma juhtimiseta variandiga võrreldes.



Joonis 26. Tarbimine ühe aasta vältel juhtimata ja juhitud valgustuse vahel

Elektrienergia tarbimise tulemusel saab arvutada aastase rahalise kulu. Arvutamisel on kasutatud 2023. aasta keskmist päevast börsihinda, milleks on 11.5 s/kWh [22], ning võttes arvesse potentsiaalset hindade tõusu tulevikus, valiti uueks hinnaks 13 s/kWh. Valgustite juhtimiseta tuleb aastaseks kuluks 587 € aastas, kuid päevavalguse juhtimisega tuleb selle summaks kõigest 332 € aastas (Joonis 27). Sellega säästetakse 255 € iga aasta, ehk kasum on 43 protsenti.



Joonis 27. Kulu ühe aasta vältel juhtimata ja juhitud valguse vahel

KOKKUVÕTE

Lõputöö eesmärgiks oli arvutada antud projekti büroohoone aastane elektrikulu, võttes arvesse valgustuspaigaldise reguleerimist vastavalt ruumidesse sissepaistvast päevavalgusest. Projekti raames teostati kliendile büroopinna valgustusarvutused, kus lisaks lahendati valguspaigaldisele juhtimine läbi *DALI-2* süsteemi. Büroopindadel projekteerimisel arvestati nägemisülesanneteks vajaliku valgustustasemega ja nägemismugavusega, ega tooks esile suuri räguseid, vastavalt kehtivale sisetöökohtade standardile. Tähelepanu pöörati ka, et lahendus arvestaks töötajate ealisi eripärasid ja toetaks nende meeleolu.

Tööruumides tuli valida valgustid, millel on madala rägusteguriga hajutid, milleks osutusid *Lightnet*-i poolt pakutavad *Lens louvre* hajutiga valgustid. Tööruumides lahendati laudadele vajalik miinimum 500 luksit kahe rippuva lineaarvalgustiga, ning avatud tööalades lahendati kõigest ühe lineaarvalgustiga, hämardades valgustid 75 ja 60 protsendile. Taustavalgus lahendati lakke ja siinidele paigaldatud kohtvalgustite abil, mis on hämardatud oma maksimum valgusvoost 50 protsendile. Koosolekuruumidesse valiti samasugused valgustid, kuid pikemad ja võimsamad, et valgustada ära kogu ruum väheste valgustite arvuga.

Valgustite juhtimiseks valiti ruumipõhine *DALI-2* süsteem. Töökohtade valgustustaset reguleerivad ruumides asetsevad kohalolekuandurid integreeritud valgussensoriga, või manuaalne sisse-välja lülitamine ja reguleerimine läbi impulsslülitite.

Päevavalguse mõju arvutamisel võeti arvesse valgustuse automaatset juhtimist *DALI-2* süsteemi ja kohalolekuandurite kaudu. Arvutusse valiti üheaegsustegur 0,7 ja eeldati 10-tunniseid tööpäevi viiel päeval nädalas. Tulemusena selgus, et juhtides valgusteid läbi *DALI-2* süsteemi ja andurite, on elektritarbimise aastane sääst 45 protsenti ja rahaline sääst 43 protsenti. Selle tulemusena on näha, kui otstarbekas ja tulus on kogu valgustuspaigaldise juhtimine vastavalt päevavalgusele realselt kogu valgustusprojektile.

SUMMARY

The aim of this thesis, „*Office lighting solution*,“ was to calculate the electricity consumption of an office building on the Viru Ring Road in Tallinn, taking into account the effects of daylighting. During the renovation period, a basic lighting design was carried out for the seventh floor office area, which included a complete lighting solution with luminaire control via DALI-2 protocol.

A key priority for the project was to comply with the EVS-12464-1 standard for indoor workplace lighting, which is particularly important for office spaces where employees spend a large part of the day at their computers. Proper compliance with the standard will help to prevent excessive eye fatigue and long-term visual damage. The lighting solution has been carefully designed to take into account both the lighting levels required for the visual tasks and the visual comfort of the workers to ensure an optimal working environment.

Lightnet luminaires were chosen, in particular their *Lens louvre* linear luminaires, which have a low glare factor and a wide beam width, making them well suited to the workplace. A minimum luminous flux of 500 lux was ensured at the desks in the workspaces with two suspended linear luminaires and one linear luminaire in the open work areas. Background lighting was provided in these spaces by spotlights.

A room-based DALI-2 system was chosen to control the luminaires. Task lighting is controlled by occupancy sensors in the rooms with built-in light sensors, or by manual on/off switching and control via pulse switches. The calculation of the daylight impact took into account the automatic control of lighting via the DALI-2 system and presence sensors. A simultaneity factor of 0,7 was chosen and 10-hour working days, five days a week, were assumed.

As a result of the analysis, it was found that the control of the lighting by means of the DALI-2 system and the presence detectors led to significant electricity savings. Annual electricity savings were 45 percent and financial savings 43 percent, confirming the economic and environmental cost-effectiveness of daylight-responsive lighting control. This proved that such an approach to a lighting project is not only economically sound but also environmentally sustainable, helping to reduce energy consumption and associated costs.

VIIDATUD ALLIKAD

- [1] „EVS-EN 12464-1:2021 Valgus ja valgustus. Töökohavalgustus. Osa 1: Sisetöökohad,“ Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus, 2021. [Võrgumaterjal].
- [2] Lightnet GmbH, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.lightnet-group.com/en/>. [Kasutatud 04. märts 2024].
- [3] KuuStuudio OÜ, [Võrgumaterjal]. Available: <https://kuustuudio.ee/about/kaubamargid/>. [Kasutatud 04. märts 2024].
- [4] „Lightnet Matric G3/R3 System 55mm Suspended,“ Lightnet GmbH, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.lightnet-group.com/en/product/matric-g3-r3-i-system-55mm-suspended-503/>. [Kasutatud 05. märts 2024].
- [5] „Lightnet Midpoint A6 surface,“ Lightnet GmbH, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.lightnet-group.com/en/product/midpoint-a6-i-surface-512/>. [Kasutatud 05. märts 2024].
- [6] „Lightnet Cubic Evolution Y4/X4 200mm Surface,“ Lightnet GmbH, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.lightnet-group.com/en/product/cubic-evolution-y4-x4-i-200mm-surface-535/>. [Kasutatud 05. märts 2024].
- [7] „Lightnet Midpoint C7 3-Phase DALI Track,“ Lightnet GmbH, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.lightnet-group.com/en/product/midpoint-c7-i-3-phase-dali-track-408/>. [Kasutatud 05. märts 2024].
- [8] „Lightnet Cubic Evolution C4 3-Phase Track,“ Lightnet GmbH, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.lightnet-group.com/en/product/cubic-evolution-c4-i-3-phase-track-412/>. [Kasutatud 05. märts 2024].

- [9] „Lightnet Midpoint F7 Recessed,” Lightnet GmbH, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.lightnet-group.com/en/product/midpoint-f7-i-recessed-553/>. [Kasutatud 05. märts 2024].
- [10] „Halla Rotao100,” Halla, a.s., [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.halla.eu/rotao100/2>. [Kasutatud 05. märts 2024].
- [11] „Halla a.s.,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.halla.eu/?c=1>. [Kasutatud 05. märts 2024].
- [12] „ISO/CIE TS 22012:2019 Valgus ja valgustus. Hooldeteguri määramine. Määramisviis,” Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus, 2019. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.evs.ee/et/iso-cie-ts-22012-2019-et>.
- [13] „Barthelme LEDLIGHT FLEX 16 8p STANDARD 500 2.0,” Josef Barthelme GmbH & Co., [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.barthelme.de/content/en/led/family/10051/ledlight-flex-16-8p-standard-500-2-0.aspx>. [Kasutatud 05. märts 2024].
- [14] „EVS-EN IEC 62386-101:2022 Digital addressable lighting interface - Part 101: General requirements - System components,” Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus, 2022. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.evs.ee/et/evs-en-iec-62386-101-2022>.
- [15] „Introducing DALI,” Digital Illumination Interface Alliance, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.dali-alliance.org/dali/>. [Kasutatud 10. märts 2024].
- [16] „OSRAM DALI ECO Control,” INVENTRONICS GmbH, [Võrgumaterjal]. Available: https://products.inventronicsglobal.com/GPS01_1066531/DALI_ECO_Control/family?cat=global&lang=en. [Kasutatud 05. märts 2024].
- [17] „OSRAM DALI Coupler Pushb G2,” INVENTRONICS GmbH, [Võrgumaterjal]. Available: https://www.inventronics-light.com/ecat/DALI%20Coupler%20Pushb%20G2-User%20interfaces-DALI-2%20components-Light%20management%20systems-OSRAM%20Products/com/en/GPS01_3269781/ZMP_3269461/. [Kasutatud 05. märts 2024].

- [18] „STEINEL PD-8 ECO DALI-2 Input Device - surface white,” STEINEL GmbH, [Võrgumaterjal]. Available: [https://www.steinell.de/index.php?cl=details&anid=237dcd457e28b926842ae1b156bd4ff9&cnid=9b974ce6b4479239b0ab0d6ec259ce74&lang=0&varselid\[0\]=5bde920fb82ab28abb3af2180ee1f62d&varselid\[1\]=d52d62a1cee92bf565a888339d97f08b&varselid\[2\]=6f4045cb6a44bfd9ccffe68fe2](https://www.steinell.de/index.php?cl=details&anid=237dcd457e28b926842ae1b156bd4ff9&cnid=9b974ce6b4479239b0ab0d6ec259ce74&lang=0&varselid[0]=5bde920fb82ab28abb3af2180ee1f62d&varselid[1]=d52d62a1cee92bf565a888339d97f08b&varselid[2]=6f4045cb6a44bfd9ccffe68fe2). [Kasutatud 05. märts 2024].
- [19] „STEINEL Dual HF DALI-2 Input Device - concealed,” STEINEL GmbH, [Võrgumaterjal]. Available: [https://www.steinell.de/index.php?cl=details&anid=91dc332715b57d54e2c011fad3f5757f&cnid=71f92c3f0d4d9c11224172640932ca22&lang=0&varselid\[0\]=d52d62a1cee92bf565a888339d97f08b&varselid\[1\]=5d4caba0ef7ee1c6274356b9eb2e99b4](https://www.steinell.de/index.php?cl=details&anid=91dc332715b57d54e2c011fad3f5757f&cnid=71f92c3f0d4d9c11224172640932ca22&lang=0&varselid[0]=d52d62a1cee92bf565a888339d97f08b&varselid[1]=5d4caba0ef7ee1c6274356b9eb2e99b4). [Kasutatud 05. märts 2024].
- [20] „STEINEL IR Quattro MICRO 6m COM1 - white,” STEINEL GmbH, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.steinell.de/en/steinell-group/sensors/presence-detectors/passive-infrared/ir-quattro-micro-6m-053789.html>. [Kasutatud 05. märts 2024].
- [21] „Earth Seasons - Equinoxes and Solstices - 2024-2027,” United States Naval Observatory, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.weather.gov/media/ind/seasons.pdf>. [Kasutatud 18 märts 2024].
- [22] „Viimase 12 kuu kaalutud keskmised börsihinnad,” 220 Energia OÜ, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.220energia.ee/eraklient-elekter/viimase-12-kuu-kaalutud-keskmised-borsihinnad>. [Kasutatud 04 aprill 2024].

LISAD

Lisa 1. Andurite töötoonid

Lisa 2. 7.korruse valgustuspaigaldise plaan

Lisa 1. Andurite tuvastusala



Lisa 2. 7.korruse valgustuspaigaldise plaan

7.korruse_valgustuspaigaldise_plaan.pdf