



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
ELEKTROENERGEETIKA INSTITUUT

Ühiskondliku hoone üldvalgustus ja selle energiaefektiivsuse parendamine

Elektroenergeetika õppekava

Energiasüsteemide õppetool

Magistritöö

Õppetooli juhataja	prof	H. Tammoja
Juhendaja	prof	H. Tammoja
Kaasjuhendaja		T. Tamm
Lõpetaja		S. Levašov

Tallinn 2014

Autorideklaratsioon

Deklareerin, et käesolev lõputöö, mis on minu iseseisva töö tulemus, on esitatud Tallinna Tehnikaülikooli elektroenergeetika instituudile haridusastme lõpudiplomi taotlemiseks elektroenergeetika erialal. Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Lõpetaja (allkiri ja kuupäev) _____

Lõputöö kokkuvõte

<i>Autor:</i> Sven Levashov	<i>Lõputöö liik:</i> Magistritöö
<i>Töö pealkiri:</i> ÜHISKONDLIKU HOONE ÜLDVALGUSTUS JA SELLE ENERGIAEFEKTIIVSUSE PARENDAMINE	
<i>Kuupäev:</i> 02.06.2014	129 lk
<p><i>Ülikool:</i> Tallinna Tehnikaülikool</p> <p><i>Teaduskond:</i> Energeetika</p> <p><i>Instituut:</i> Elektroenergeetika</p> <p><i>Õppetool:</i> Energiasüsteemid</p>	
<p><i>Töö juhendaja(d):</i> Heiki Tammoja, Tiiu Tamm</p> <p><i>Töö konsultant (konsultandid):</i></p>	
<p><i>Sisu kirjeldus:</i></p> <p>Magistritöö vaatlleb ja analüüsib ühiskondlike hoonete energiaefektiivsele üldvalgustusele esitatavaid nõudeid ja hindab valgustuspaigaldise energiatõhususe parendamise võimalusi.</p> <p>Energiaefektiivse valgustuse all käsitletakse seejuures sellist valgustust, mis ühelt poolt vastutab parema nägemisvõime, -mugavuse ja meeldiva miljöö eest ning teiselt poolt tagab valgustuspaigaldise energiatõhusama kasutamise ja juhtimise.</p> <p>Magistritöö eesmärk on anda ülevaade valgustusele esitatavate nõuete kohta, iseloomustada valgustuspaigaldise energiatarbimist mõjutavaid komponente ja kirjeldada konkreetse objekti näitel valgustuse ja sellele kuluva liigse energiakulu probleemi olulisust ning energiatarbimise vähendamise võimalusi.</p> <p>Töö tutvustab kvaliteetsele ja energiatõhusale valgustusele esitatavaid nõudeid ja toob välja statistilisi andmeid valgustuse kvaliteedi kohta Eesti töökohtadel, kuid ka valgustusele kuluva energiatarbimise suurusjärgu. Toob konkreetseid näiteid, millest sõltub energiatõhusa valgustuse valik ja kirjeldab TTÜ elektrotehnika instituudi ruumide näitel valgustuse praegust olukorda ja selle energiatarbimise vähendamise võimalusi. Valgustustehniliste ja energiatõhususe arvutusteks kasutatakse DIALux valgusarvutusprogrammi. Näiteks on lisades toodud ühe ruumi arvutustulemused.</p> <p>Uurimistulemustest nähtub, et energiatõhusate lahendustega tagatakse jooksvate energiakulude madalam tase, parendades sh ka valgustuse ja töökeskkonna kvaliteeti. Välja</p>	

tuuakse soovitusi ja lahendusettepanekuid käsitletavate ruumide energiaefektiivsuse parendamiseks, arvestades sh nende tasuvusperioodi.

Märksõnad:

valgustus, töökeskkond, energiaefektiivsus, valgustuse juhtimine, TTÜ, DIALux, EVS EN 12464-1:2011, EVS EN 15193:2007

Summary of the diploma work

<i>Author:</i> Sven Levashov	<i>Kind of the work:</i> Master's Thesis
<i>Title:</i> GENERAL ILLUMINATION OF A PUBLIC BUILDING AND IMPROVING ITS ENERGY EFFICIENCY	
<i>Date:</i> 02.06.2014	<i>129 pages</i>
<i>University:</i> Tallinn University of Technology <i>Faculty:</i> Faculty of Power Engineering <i>Department:</i> Department of Electrical Power Engineering <i>Chair:</i> Chair of Power Systems	
<i>Tutor(s) of the work:</i> Heiki Tammoja, Tiiu Tamm <i>Consultant(s):</i>	
<p><i>Abstract:</i></p> <p>The Master's Thesis observes and analyses the requirements set to the energy efficiency of general lighting in public buildings and evaluates the possibilities for improving the energy efficiency of light installations.</p> <p>In this connection the energy efficient lighting is understood as the lighting that on the one side is responsible for better vision ability, vision comfort and for a pleasing milieu and on the other side assures the energy efficient usage and management of light installation.</p> <p>The goal of the Master's Thesis is to give an overview of requirements set to the lighting, to characterize components affecting the energy consumption of light installations and to describe the importance of the problem of lighting and of excessive energy consumption by lighting and the possibilities for decreasing the energy consumption by using an example of a specific object.</p> <p>The work presents the requirements set to the high-quality and energy efficient lighting and brings out the statistical data about the lighting quality in Estonian work places, but also the amounts of energy consumption used for lighting. It points out specific examples about factors on which the choice of the energy efficient lighting depends on and uses the example of the rooms of the TUT power engineering institute to describe the present lighting situation and the possibilities for decreasing its energy consumption. DIALux lighting calculation program was used for lighting technical and energy efficiency calculations. The calculation results of one room have been presented in the annexes as an example.</p>	

The research results show that the energy efficient solutions assure a lower level of day-to-day expenses and among other things the quality of lighting and the work environment will also improve. Recommendations and solution proposals are pointed out for improving the energy efficiency of the studied rooms; among other things their payback period was also considered.

Key words:

Light, work environment, energy efficiency, lighting Control, TUT, DIALux, **LENI**, EVS EN 12464-1:2011, EVS EN 15193:2007

Sisukord

Lõputöö ülesanne.....	9
Teema põhjendus:	9
Töö eesmärk:.....	10
Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:.....	10
Lähteandmed:.....	10
Graafiline osa:.....	10
Eessõna	11
Lühendite ja sümbolite loetelu	12
Sissejuhatus.....	13
1. Valgustus ja selle energiatarbimine.....	15
1.1. Valgustuse kvaliteedi tähtsus	15
1.1.1. Nõuded töökeskkonna valgustusele	18
1.2. Energiatarbimine ja selle seos valgustusega	19
2. Energiaefektiivse valgustuse kriteeriumid	26
2.1. Kvaliteetse valgustuse komponendid	26
2.1.1. Valgustustihedus	27
2.1.2. Heledusjaotus.....	28
2.1.3. Räigus.....	29
2.1.4. Varjumoodustus ja suundvalgustus	30
2.1.5. Valguse värelius	30
2.1.6. Värviesitus.....	31
2.1.7. Valguse näiv värv (Lähim värvsüsteemtemperatuur)	32
2.1.8. Päevalgustus	33
2.2. „Intelligentse” valgustussüsteemi komponendid	35
2.2.1. Lampide ja valgustite tõhusus	37
2.2.2. Liiteseadised.....	43
2.2.3. Valguse ja valgustuse juhtimine	46
2.2.4. Hooldus	55
3. Uurimistöö metoodika ja objekti iseloomustus	58
3.1. Tallinna Tehnikaülikooli energeetikateaduskonna hoone iseloomustus	58
3.2. Töökohtade valgustuskvaliteedi hindamine ja uurimisruumide valik.....	59
3.2.1. Töökohtade valgustuskvaliteedi hindamine küsimustiku alusel.....	59
3.2.2. Uurimisruumide valik ja nende valgustehniline iseloomustus	62
3.2.3. Normid ja üldised soovitused õpperuumide valgustuse planeerimiseks	63
3.2.4. Kasutatav valgustusprogramm	66
4. Energiaefektiivse valgustuse planeerimine	68
4.1. Päevalguse piisavuse hindamine tööruumides	68
4.2. Energiatõhususe potentsiaal ja selle lihtsaim tasuvusarvutus	69
4.2.1. Õpperuumide energiaefektiivne valgustus.....	69
4.2.2. Üldkasutatavate ruumide valgustuspaigaldise energiatõhusus	80
4.2.3. Tööruumide energiaefektiivne valgustus	87
Lõputöö kokkuvõte	94
Kirjandus	97
Lisad	104

L.1. Küsitlusankeedi vorm (eesti keeles)	105
L.2. Koridori 418 3D-esitus leedvalgustitega lahendusel (eesti keeles)	108
L.3. Koridori 418 valemvärvide esitus leedvalgustitega lahendusel (eesti keeles).....	110
L.4. Koridori 418 valgustusarvutuste üldkokkuvõtte leedvalgustitega lahendusel (eesti keeles).	112
L.5. PANOS infinity L leedvalgusti tehnilised andmed (saksa keeles).....	114
L.6. Koridori 418 arvutuspindade valgustusarvutuste tulemused leedvalgustitega lahendusel (eesti keeles)	116
L.7. Koridori 418 printeri töötasapinna valgustusarvutused leedvalgustitega variandi korral (eesti keeles).....	118
L.8. Koridori 418 energiahinnang hetkel kasutusel oleva lahenduse kohta induktiivsete liiteseadistega 24 tunnilisel kasutamisel (eesti keeles)	120
L.9. Koridori 418 induktiivsete liiteseadistega energiahinnangu parameetrid 24 tunnilisel kasutamisel (eesti keeles).....	122
L.10. Koridori 418 energiahinnang hetkel kasutusel oleva lahenduse kohta induktiivsete liiteseadistega 15 tunnilisel kasutamisel (eesti keeles)	124
L.11. Koridori 418 energiahinnang leedvalgustitega variandi kohta (eesti keeles)..	126
L.12. Koridori 418 leedvalgustitega variandi energiahinnangu parameetrid (eesti keeles)	128

Lõputöö ülesanne

Lõputöö teema:	Ühiskondliku hoone üldvalgustus ja selle energiaefektiivsuse parendamine
Üliõpilane:	Sven Levashov, 093252 AAVMM
Lõputöö juhendaja:	Heiki Tammoja/ Tiiu Tamm
Õppetool:	Energiasüsteemid
Õppetooli juhataja:	Heiki Tammoja
Lõputöö esitamise tähtaeg:	02.06.2014

Üliõpilane (allkiri)

Juhendaja (allkiri)

Õppetooli juhataja (allkiri)

Teema põhjendus:

Teema on tähtis kahest aspektist. Esiteks on ebapiisav, ebakvaliteetne valgustus üks olulisematest töökeskkonna ohuteguritest büroo töökeskkonnas.

Nii selgus 2004. aastal minu bakalaureuse tööst valgustuse teemal, et põhilise töökeskkonna ohutegurina Eestis on täheldatud ebapiisavat valgustust. Sellele järgnesid rohke müra ja tolm töökeskkonnas. Eestis erinevates sektorites korraldatud uurimistööd on näidanud, et enamikus tööruumides ei taga paigaldatud valgustussüsteemid tänapäeval normidega soovitatud väärtustulemusi ja kvaliteedi.

Teise aspektina on Euroopa Ülemkogu heaks kiitnud energaetika arengusuunad, mis annavad pikaajalisi suuniseid energiasektori arenguks ka Eestis. Aastaks 2020 on Eestis seatud eesmärgiks energiatarbimise vähendamine 20% võrra. 2050. aastaks püstitatud eesmärgid näevad aga ette energiatõhususe kasvatamist 35% võrra. Nii on nt püstitatud eesmärkide saavutamiseks loobutud hõõglampide tootmisest ja nende kasutamisest Euroopa Liidus, kuna nende kasutamine ei olnud piisavalt energiasäästlik. Tulevikus nähakse lahendustena ette „targa maja” tehnoloogia rakendamist, millest esimene on leidmas tänapäeval Eestis oma turgu. Energia efektiivne kasutamine mängib selles ka olulist rolli.

Töö eesmärk:

Magistritöö eesmärk on anda ülevaade valgustusele esitatavate nõuete kohta, iseloomustada valgustuspaigaldise energiatarbimist mõjutavaid komponente ja kirjeldada konkreetse objekti näitel valgustuse ja selle liigse energiakulu probleemi olulisust ning energiatarbimise vähendamise võimalusi.

Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

Lähtuvalt eelmainitust on magistritöö ülesanneteks määratud:

- 1) tutvumine valgustuse kvaliteedi tähtsusega ja sellele esitatavate nõuetega;
- 2) valgustuse energiatarbimise ja seda mõjutavate tegurite iseloomustamine, arvestades ühiskondliku hoone iseärasusi;
- 3) uuritava objekti ja ruumi valik ning selle valgustuskeskkonna iseloomustamine;
- 4) saavutatava energiapotentsiaali hindamine valgustussimulatsiooni programmiga, arvestades valgustuse energiatarbimist mõjutavaid tegureid;
- 5) kokkuvõtte koostamine.

Oodatud tulemuseks on soovitude andmine konkreetse objekti kohta töökeskkonna valgustuse parendamiseks ja energiasäästu tagamiseks koos lihtsamate tasuvusarvutustega.

Lähteandmed:

Objekti andmed hoone arhitektilt ja projekterijatelt, informatsioon valgustite kohta nende tootjatelt, informatsioon messidelt ja asjakohasest kirjandusest, statistilised andmed, seadusandlus, loengute, kursuste materjalid vastavast valdkonnast ja valgustusarvutused simulatsiooniprogrammist jne.

Graafiline osa:

Tekstjoonised

Eessõna

Magistritöö valmis autori initsiatiivil huvist valgustuse vastu. Sooviksin siinkohal tänada TTÜ töötajaid, kes olid lahkesti nõus võtma osa korraldatud küsitlusest ja kes edastasid andmeid õpperuumide kasutamise ja valgustuskeskkonna kohta (Lea Pallon, Kristi Toomeoja). Eriliselt tahaksin tänada ka TTÜ Energeetikamaja arhitekti Mai Šeina ja Contactus OÜ töötajaid, kes edastasid informatsiooni olemasoleva valgustusprojekti kohta.

Soojalt tahaksin tänada oma töö juhendajaid Tiiu Tamme ja Heiki Tammoja ning Ülle Valtnat toetamise eest õpingute ajal, nagu ka oma ema Antonia Levašovat.

Olen tänulik iga tagasiside eest magistritöö kohta e-postiaadressil sven.fb@hotmail.com.

Lühendite ja sümbolite loetelu

<i>D</i>	– päevavalgustegur
<i>D_m</i>	– keskmine päevavalgustegur
<i>E</i>	– valgustustihedus
<i>E_m</i>	– keskmine valgustustihedus
<i>E_{min}</i>	– minimaalne valgustustihedus
<i>LENI</i>	– valgustusenergia arvnäitaja (ingl k Lighting Energy Numeric Indikator)
<i>LOR</i>	– valgusti talitluskasutegur (ingl k Light output ratio of a luminaire)
<i>R_a</i>	– lambi värviesituse üldindeks
<i>T_{cp}</i>	– lähim värvsustemperatuur
<i>U_o</i>	– valgustustiheduse ühtlustegur
<i>UGR</i>	– räägus (ingl k Unified Glare Rating)

Sissejuhatus

Uue energiamajanduse arengukava eelnõus toonitatakse taas energiatõhusate tehniliste lahenduste rakendamise olulisust ja avaliku sektori eeskuju tähtsust selle elluviimisel.

Eestis kuulub siseruumide energiatõhus valgustus vähem uuritud valdkondade hulka. Vastavas valdkonnas tegutsevate spetsialistide sõnade kohaselt, ei hoolita energiatõhusast lahendusest, vaid valitakse ehitusperioodil odavam ja seetõttu tihti ka energiakulukam valgustuslahendus. Sageli kannatavad taoliselt valitud valgustuslahenduse tõttu vastavas keskkonnas töötavad inimesed.

Samas on Euroopa Ülemkogu seadnud eesmärgi vähendada energiatarbimist 2020. aastaks 20% võrra võrreldes 2005. aastaga. Nii on nt püstitatud eesmärkide saavutamiseks loobutud hõõglampide tootmisest ja nende kasutamisest Euroopa Liidus, kuna need ei ole energiasäästlikud. Samuti on keelustatud energiakulukamate liiteseadiste valmistamine ja sissetoomine Euroopasse. Väljatöötamisel on energiatõhususe nõuete karmistamine. Käesolevate meetmetega soovitakse säästa energiatarbimist valgustuse arvelt 40 TWh ulatuses. Tänu juba rakendatud meetmetele vastavas valdkonnas soovitakse Euroopas vähendada kasvuhoonegaaside emissiooni taset 15–10⁶ tonni aastas [1].

Valgustuse mõistlik planeerimine aitab energiatarbimist vähendada ja hoiab kokku kulusid. Ühiskondlikes hoonetes moodustab energiakulu valgustusele olulise osa soojusenergia kulu järel.

Ei tohi unustada, et mida suurem on valgustusele kuluv energia, seda rohkem kulutatakse energiat ka valgustusvõimsuse tekitatud soojusenergia väljatõmbeks ruumi konditsioneerimisel ja suvisel ajal jaheda õhu tagamiseks.

Valgustus on ka osa meie töökeskkonna tingimustest, milles igapäevases tegevuses viibime. Eri maade uuringud on tõestanud, et õige valgustuse valik säästab silmi ja mõjub positiivselt enesetundele, parendades ka tööefektiivsust. Tööproduktiivsuse suurendamine ja vigade tekke vähenemine tõstavad aga töötajate töö kasumlikkust. Paraku ei tunta tihti praktikas valgustusele esitatavaid nõudeid, mille tulemusena on ruumides valgustus kas ebaküllaldane või valgustite paiknemine ei arvesta töötajate töökohtade paigutust. Eriti tihti olen seda kohanud Tööinspeksioonis töötades uute objektide vastuvõtmisel. Inimesed ei tunneta ega oska väärtustada valgustuse kvaliteedi tähtsust nagu ka võimaliku energiatarbimise potentsiaali, mida tegelikult sellega saab saavutada. Samas on valgustuse uuringud tõestanud selle positiivset mõju töötajaskonnale ja kinnitanud suurt säästupotentsiaali võimalust valgustuspaigaldise energiaefektiivsel kasutamisel.

Soovin oma töös anda ülevaadet, kuidas efektiivselt energiakulusid valgustusele kokku hoida, arvestades samas ka valgustuse projekteerimisele esitatavate töökeskkonna nõuetega.

Magistritöö eesmärk on anda ülevaade valgustusele esitatavate nõuete kohta, iseloomustada valgustuspaigaldise energiatarbimist mõjutavaid komponente ja kirjeldada konkreetse objekti näitel valgustuse ja selle liigse energiakulu probleemi olulisust ning energiatarbimise vähendamise võimalusi.

Lähtuvalt eelmainitust on magistritöö ülesanneteks määratud:

- 1) tutvumine valgustuse kvaliteedi tähtsusega ja sellele esitatavate nõuetega;
- 2) valgustuse energiatarbimise ja seda mõjutavate tegurite iseloomustamine, arvestades ühiskondliku hoone iseärasusi;
- 3) uuritava objekti ja ruumi valik ning selle valgustuskeskkonna iseloomustamine;
- 4) saavutatava energiapotsentsiaali hindamine valgustussimulatsiooni programmiga, arvestades valgustuse energiatarbimist mõjutavaid tegureid;
- 5) kokkuvõtte koostamine.

1. Valgustus ja selle energiatarbimine

1.1. Valgustuse kvaliteedi tähtsus

Igapäevaelus oleme harjunud hindama valgustust vastavalt meie sisemisele tunnetusele selle piisavuse või mittepiisavuse kohta nii tööl kui vaba aega veetes. Erinevad uurimistööd ja teemakohased analüüsid näitavad, et valguse mõju inimesele on kaugelt suurem, kui oskame seda oma argipäevas ette kujutada.

Valgus võimaldab näha, määrab elurütmi ning mõjutab inimese kehalisi, vaimseid ja hingelisi protsesse. Hea valgus mõjub positiivselt töövalmidusele, keskendumisvõimele ja vastupidavusele, aitab vähendada vigade ja praagi kogust, parandab nägemist ja tagab inimesele tervise.

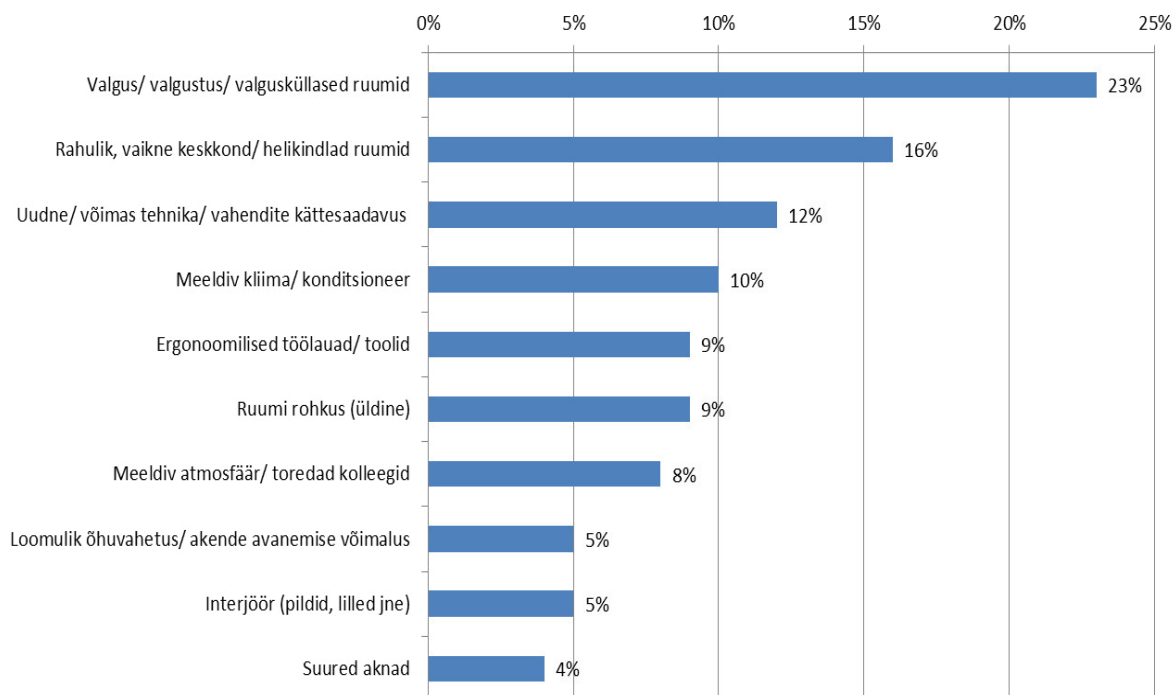
90% kogu infost, mis tuleb ümbritsevast keskkonnast, saab inimene nägemise kaudu [2]. Kõige loomulikum on inimese jaoks looduslik valgus. See on inimesele vastuvõetavam, stimuleerib organismi elutegevust, lisab vastupanuvõimet erinevatele haigustele. Hea valgus kindlustab psühholoogilise mugavuse, s.t inimene tunneb ennast oma keskkonnas kindlalt ja turvaliselt.

On paratamatu, et Eesti kliimaoludes on seos loodusliku valgusega üldjuhul vähene. Paljud veedavad sellegi vähese aja suures osas tööl – kunstliku valgustuse käes, kus vahel seos ümbritseva väliskeskkonnaga üldse puudub.

Spetsialistide sel teemal tehtud analüüsid tõestasid, et tehisvalgustus, mille spekter erineb oluliselt loodusliku valguse spektrist, võib mõjuda töötajale ebasoodsalt, nõrgendades muuhulgas töötaja immuunsust haiguste vastu.

Seepärast on väga oluline tagada nõuetekohane valgustus töökohtadel, et võimaldada täita nägemisülesandeid tõhusalt ja täpselt ning et valgustus oleks töötaja tervisele võimalikult soodne [3].

Valguse ja valgustuse piisavuse tähtsust töötajate nägemise seisukohalt tõestavad ka töötajate seas läbi viidud küsitlused. Nii tõi Saksamaal 2011. aastal 3145 kontoritöötajate seas läbi viidud küsitlus välja olulisemad parameetrid, mis on töötajate arvates tähtsad tööülesannete efektiivsel täitmisel (joonis 1.1).

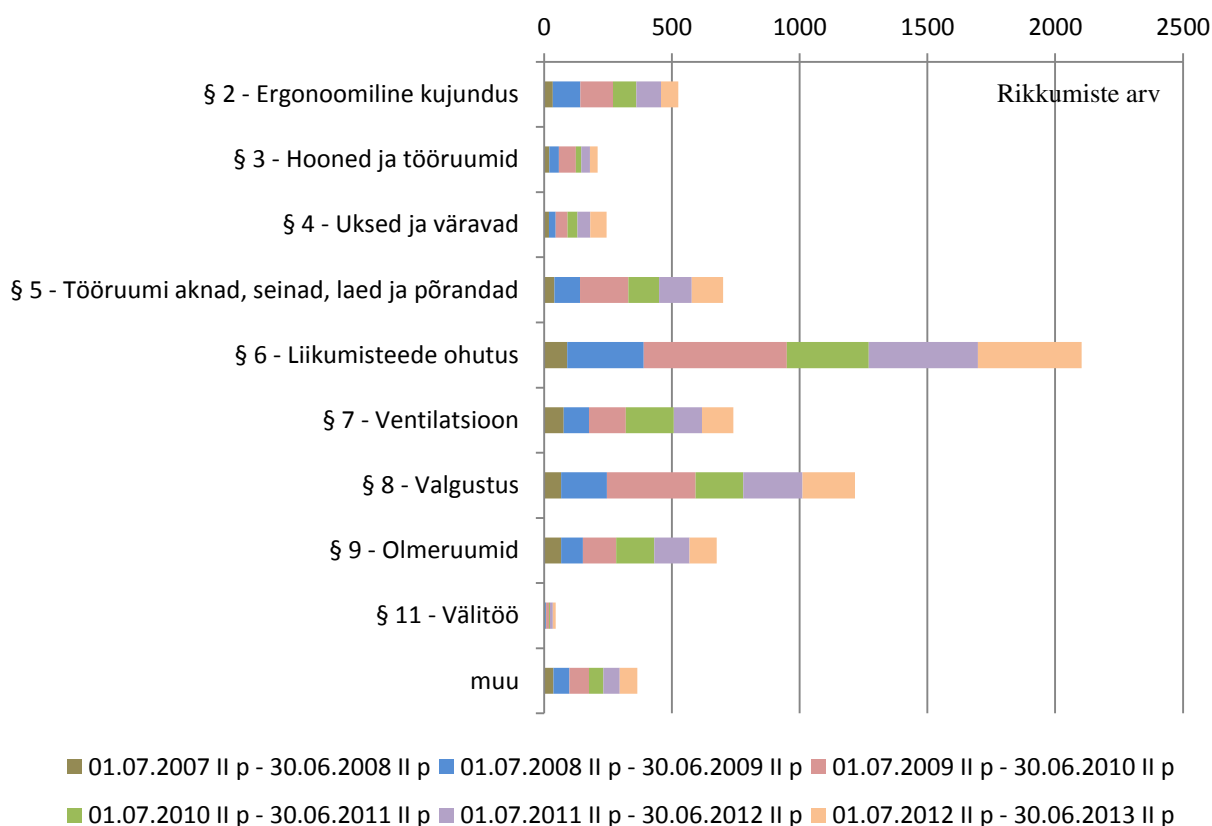


Joonis 1.1. Saksamaa kontoritöötajate töökeskkonnaalase küsitluse tulemused [4]

Nii valgusküllased ruumid kui ka piisav valgustus töökohtadel olid töötajate arvates olulisemaid tegureid töökeskkonnas.

Statistiliste andmete kohaselt on valgustuskeskkond Eestis paljudel töökohtadel kahjuks kas ebapiisav või siis ebakvaliteetne.

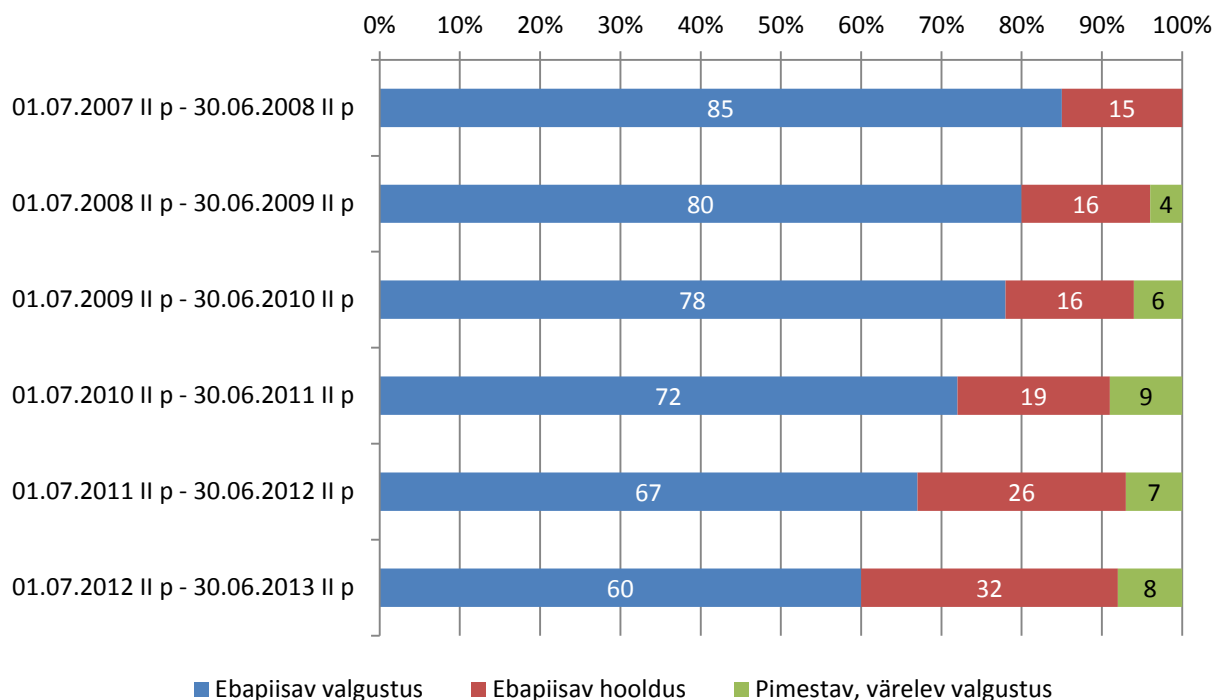
Nii on Tööinspektsiooni andmetel alates 2007. aastast, mil Eestis võeti töökeskkonna valgustuse kvaliteedi hindamise aluseks asjakohane standard, tuvastatud töökohtadel 6 aastaga 1216 rikkumist seoses puuduliku valgustusega (joonis 1.2), mis on u 18% töökohtadel tuvastatud rikkumistest. Sellest rohkem on tuvastatud rikkumisi liikumisteede ohutuses ja vähem probleeme töökohtade õhuvahetuga (741 rikkumist). Siinjuures tuleb ära märkida, et valgustuse ja õhuvahetuse vahel on olemas kindel seos, mida käsitletakse lühidalt käesolevas töös hiljem.



Joonis 1.2. Tööinspeksiooni „Töökohale esitatavad tervishoiu ja tööohutuse nõuded” määruse nõuete kontrollimisel tuvastatud puudused ajavahemikus 01.07.2007–30.06.2013

Analüüsidest Tööinspeksiooni tuvastatud rikkumisi valgustuse kohta, selgub, et suurema osa sellest moodustab ebapiisav valgustus töökohtadel. Sellele järgnevad puudulik hooldus, mis on aastatega muutunud eriti aktuaalseks, nagu ka pimestav ja värelev valgustus (joonis 1.3).

Eespool toodud statistilised andmed näitavad, et kvaliteetse valgustuse projekteerimine jääb tihti kvantitatiivsele projekteerimisele alla, mis mõjutab olulisel määral ka töötajate ohutust. Samuti on aina suurenenud valgustuskeskkonna halvenemine puuduliku hoolduse tõttu.



Joonis 1.3. Tööinspektsiooni tuvastatud puudused valgustuses, põhjuste jaotus

1.1.1. Nõuded töökeskkonna valgustusele

Nõuded töökeskkonna valgustusele sätestab „Töötervishoiu ja tööohutuse seadus”, mille kohaselt ei või töökeskkonnas toimivad füüsilised tegurid (sh puudulik valgustus) ohustada töötaja ega muu töökeskkonnas viibiva isiku elu ega tervist [5]. Kontoriruumide ja avaliku teenistuse hoonete valgustuse nõudeid on täpsustatud kahes Vabariigi Valitsuse määruses:

- nr 176 „Töökohale esitatavad tervishoiu ja tööohutuse nõuded¹”
- nr 362 „Kuvariga töötamise tervishoiu ja tööohutuse nõuded¹”

Määruste kohaselt peavad üld- ja kohtvalgustus tagama tööpinna piisava valgustuse ja töötaja nägemisväljas olevate pindade vajaliku kontrastsuse, arvestades töö iseloomu ja töötaja nägemisteravust. Valgustuse projekteerimisel tuleb eelistada loomulikku päevavalgust. Kui töökoha valgustuse osas on juhitud standardi EVS-EN 12464-1 „Valgus ja valgustus. Töökohavalgustus” 1. osast „Sisetöökohad”, eeldatakse, et töökoha sisevalgustuse nõuded on täidetud. Vajaduse korral tuleb töökoha valgustust suurendada vastavalt töötaja eale või tervislikule seisundile.

Valgus peab olema suunatud nii, et ei tekiks häirivaid varje ning ei pimestaks otse ega peegeldunult. Vältima peab heleduste suuri erinevusi töötaja liikumisel ühest ruumist või ruumiosast teise ning valgustist lähtuvat valgusvoo varelust. Kuvariga töötamise koht tuleb

kujundada selliselt, et valgusallikad – aknad, poolläbipaistvad või läbipaistvad seinad, eredalt värvitud seadmed ja seinad – ei asetseks töötaja otseses vaateväljas ega halvendaks kuva kvaliteeti.

Tööruumid, kus töötajad võivad sattuda tehisvalgustuse rikke korral ohtu, peavad olema varustatud nõuetekohase hädavalgustusega.

Kaitseks otsese päikesevalguse ning soojuskiirguse eest peab päikesepoolseid aknaid saama vajaduse korral katta nii, et saaks päevavalgust ruumi suunata ilma töötingimusi halvendamata. [6, 7]. Akende täielik kinnikatmine sunnib kasutama tehisvalgustust, mis omakorda suurendab elektritarbimist.

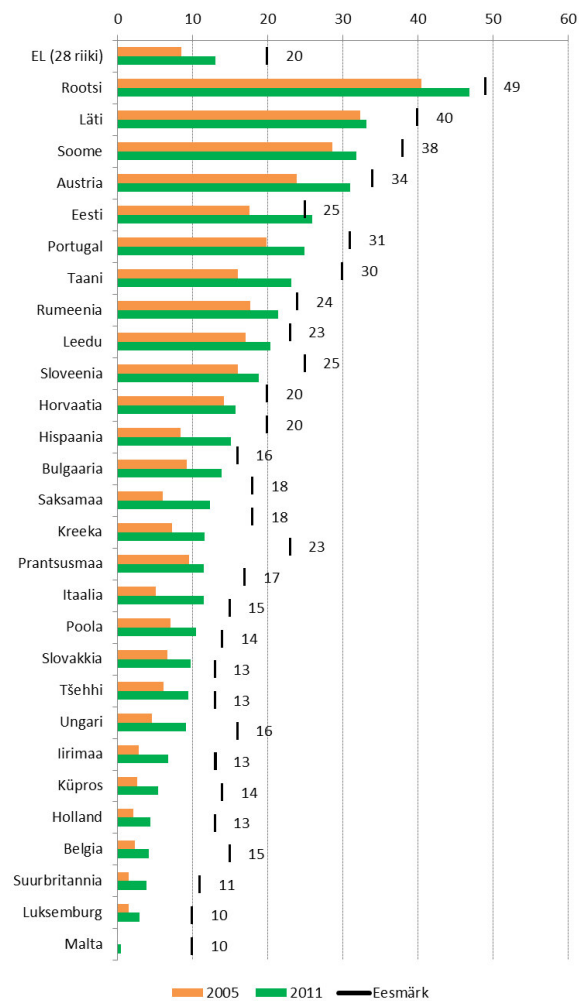
1.2. Energiatarbimine ja selle seos valgustusega

Tänapäeva kiiresti arenevas keskkonnas, milles energiajulgeolek mängib aina tähtsamat rolli, ei saa me jätta tähele panemata ka efektiivse energiatarbimise olulisust.

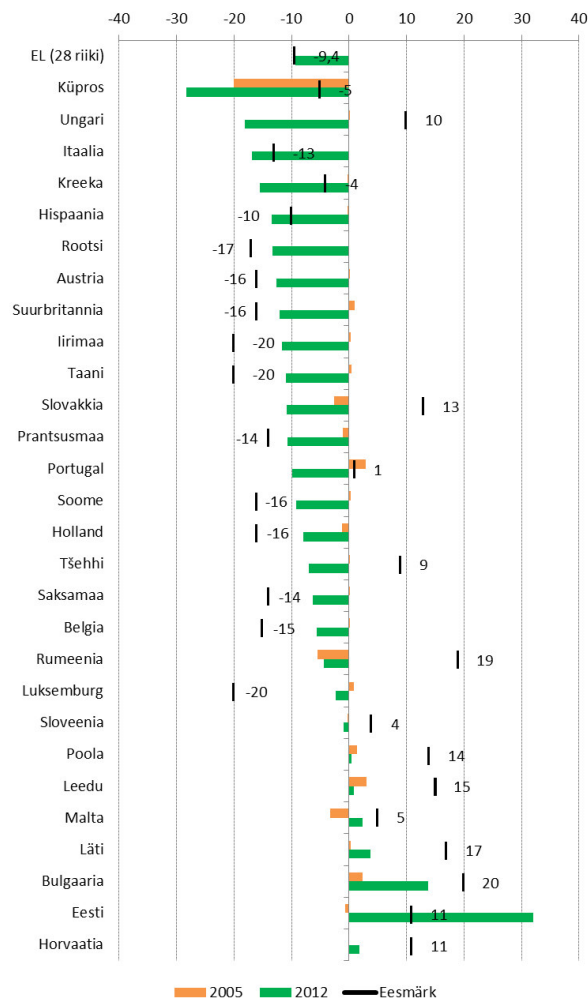
Euroopa Ülemkogu heakskiidetud energeetika arengusuunad andsid pikaajalisi suuniseid energiasektori arenguks ka Eestis. „Euroopa 2020” eesmärkide nime all tuntud abimeetmete paketi põhjal on Eesti muuhulgas võtnud endale järgnevad eesmärgid:

- Taastuvenergia osakaalu tõstmine energia lõpptarbimises 25% (kohustuslik eesmärk tulenevalt taastuvenergia direktiivist 2009/28/EÜ);
- Euroopa Liidu heitkoguste kauplemisüsteemi väliste sektorite summaarne kasvuhoonegaaside emissiooni kasv atmosfääri 10% võrreldes 2005. aastaga (kohustuslik eesmärk tulenevalt Euroopa Parlamendi ja Nõukogu otsusest 406/2009/EÜ ja konkurentsivõime kavast „Eesti 2020”);
- Energia lõpptarbimine aastal 2020 ei tohi ületada energia lõpptarbimist 2010. aastal 2818 ktoe (indikatiivne eesmärk tulenevalt energiasäästudirektiivist 2012/27/EL ja konkurentsivõime kavast „Eesti 2020”) [8].

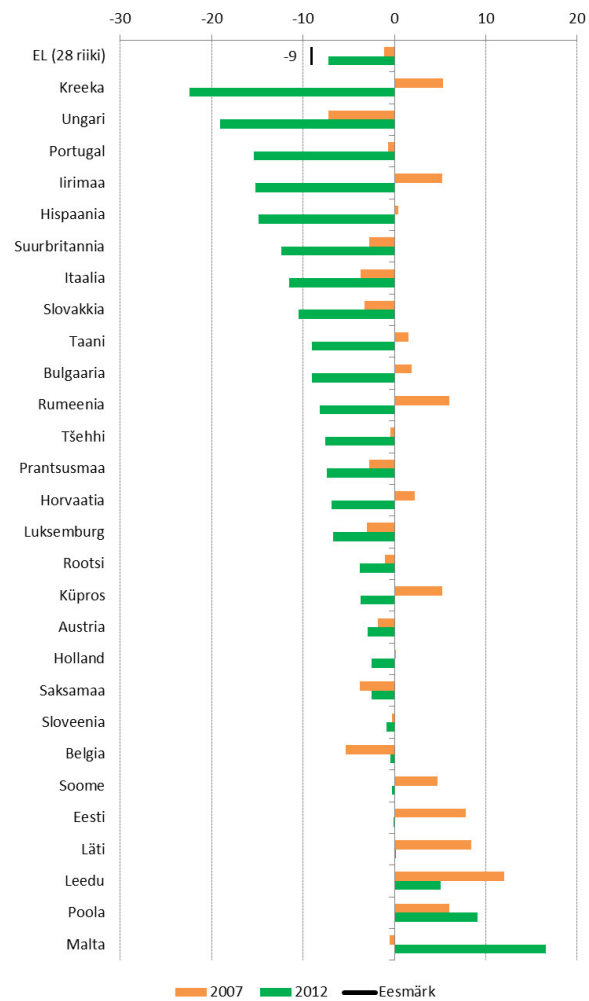
Siinkohal on Eesti võrreldes teiste riikidega näidanud mõne eesmärgi täitmisel üles erilist püüdlikkust (joonis 1.4) [9].



Taastuvenergia osakaal energia lõpptarbimisest



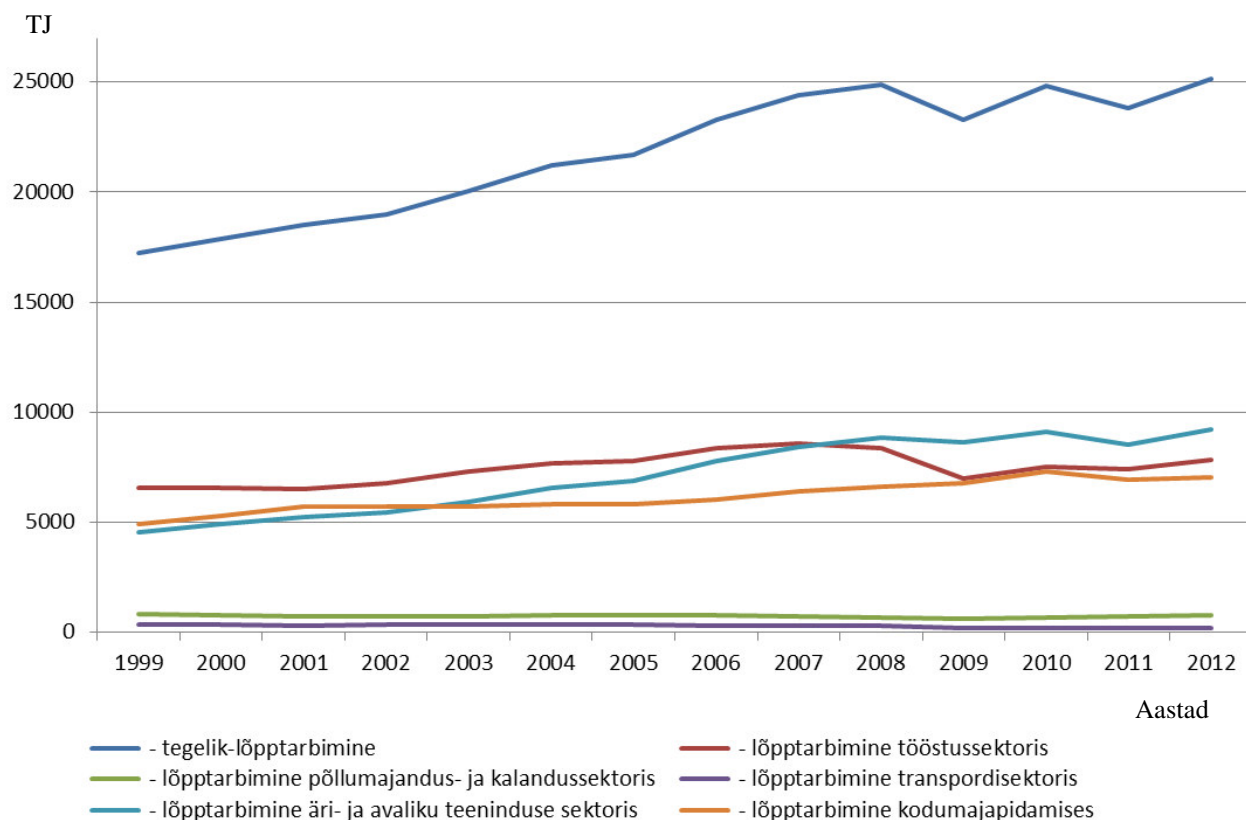
Kauplemissüsteemi väliste sektorite
summaarne kasvuhoonegaaside emissioon



Energia lõpptarbimine

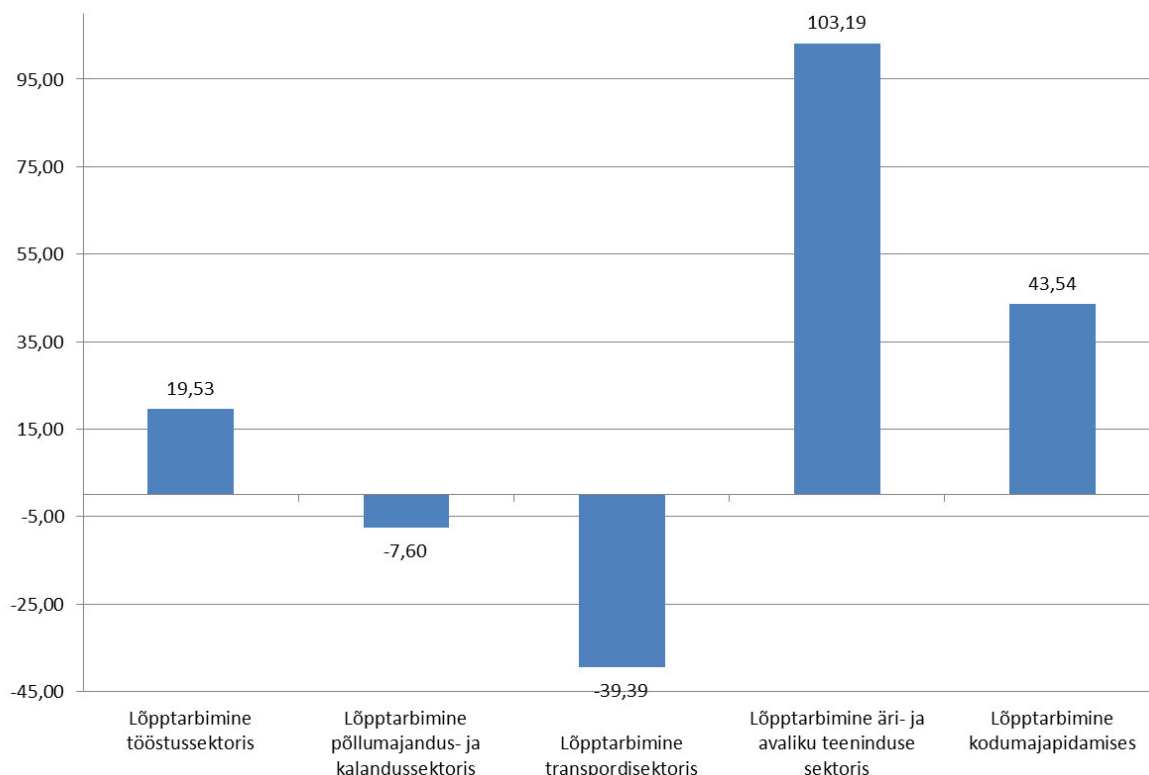
Joonis 1.4. „Euroopa 2020” eesmärkide protsentuaalne täitmine Euroopa Liidus 2012. aasta seisuga

Kui taastuenergia osakaalu tõstmise eesmärk energia lõpptarbimisest on tänaseks juba saavutatud, siis ülejäänud kohustuste täitmisel on veel arenguruumi. Nende hulka kuulub energiatarbimise mahtude ja heitkoguste kauplemissüsteemi väliste sektorite summaarse kasvuhoonegaaside emissioonitaseme vähendamine. Energia lõpptarbimine 2012. aastal oli suurusjärgus 2859 ktoe. Elektrienergia lõpptarbimine, nagu ka selle osatähtsus kogu energia lõpptarbimisest, on viimase aastakümne jooksul oluliselt suurenenud (joonis 1.5) [10].



Joonis 1.5. Elektrienergia lõpptarbimine ajavahemikus 1999–2012

Analüüsidest elektrienergia tarbimise muutust erinevate sektorite vahel võime täheldada, et suurim elektrienergia lõpptarbimise kasv oli äri ja avaliku teeninduse sektoris, mis kasvas võrreldes 1999. aastaga üle 100% (joonis 1.6) [10]. Arvestades kasvavat elektritarbimist oleks just selles sektoris oluline rakendada meetmeid, et muuta kasutatavaid tehnoloogiaid energiatõhusamateks.



Joonis 1.6. Elektrienergia lõpptarbimise kasv 2012. aastal võrreldes 1999. aastaga, %

Energiatarbimise kasvuga kasvab ka kauplemissüsteemiväliste sektorite summaarne kasvuhuonegaaside emissioonitase.

2007. aastal korraldas McKinsey Instituut uuringu „Kasvuhuonegaaside emissioonide vältimise kulud ja võimalused”, mis põhineb kulude vähendamispotentsiaali analüüsil. Nimetatud uuringus jälgiti umbes 300 tegurit erinevates sektorites. Üks tegur vastab rakendatud meetmele, näiteks küttesüsteemide vahetamine hoonetes.

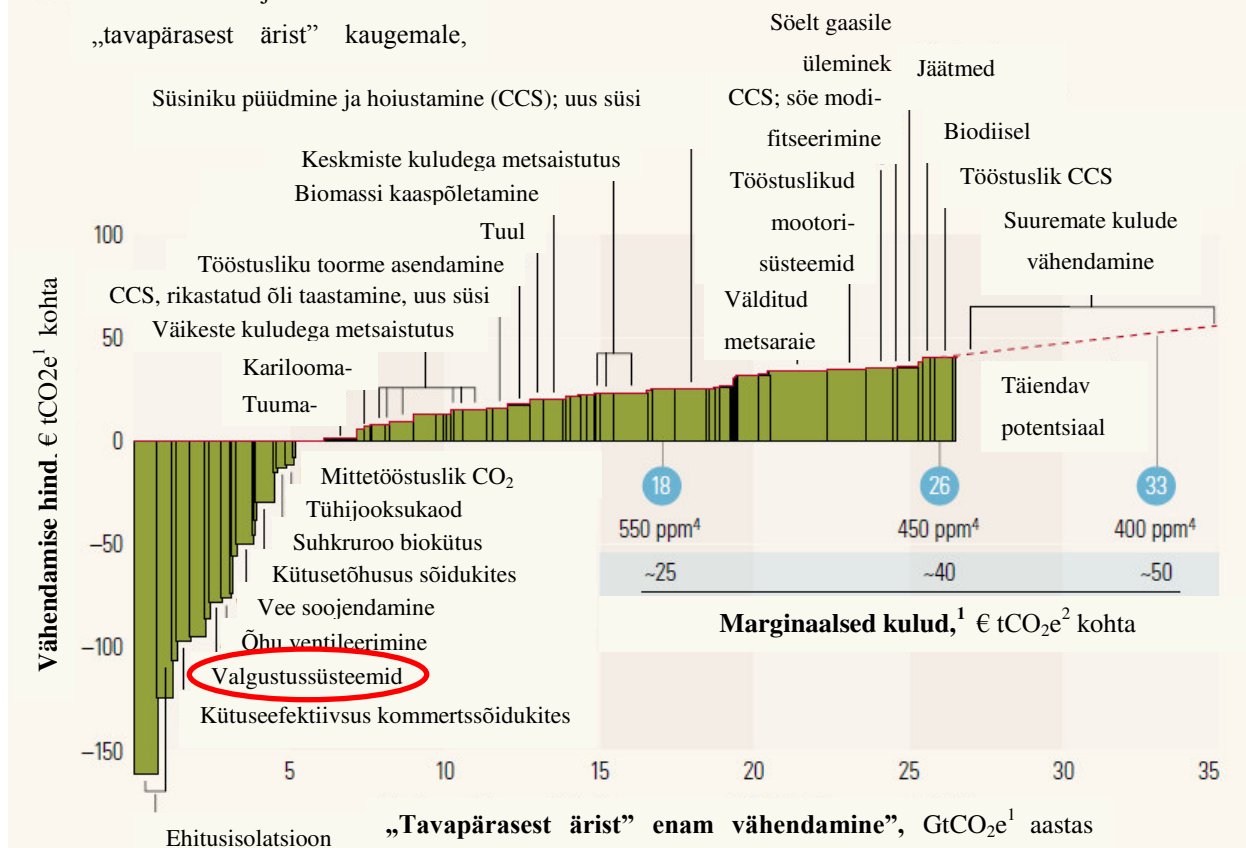
Uuringu tähtsaimaks raamtingimuseks oli, et vältimistegur ei tohi esile kutsuda elukvaliteedi piiramist ega majanduskasvu aeglustumist. Uuringus vaadeldi tehnoloogiaid, mis on praegu kasutusel või on edenenud väljatöötamisstaadiumis.

Kõnealuse uuringu lõpparuandes täheldati tähtsaimateks teguriteks hoonetesektoris soojustuse ja kütteseadmete vahetamist, tõhusaid elektriseadmeid ja valgustust [11].

ZVEI (ZVEI – Saksamaa elektrotehnika ja elektritööstuse liiduühing) märkis McKinsey uuringutulemusi kommenteerides, et valgustuse uuendamine on üks soodsamatest ja efektiivsematest investeeringutest CO₂ emissiooni piiranguks nagu ka energiatarbimise vähendamiseks (joonis 1.7) [12].

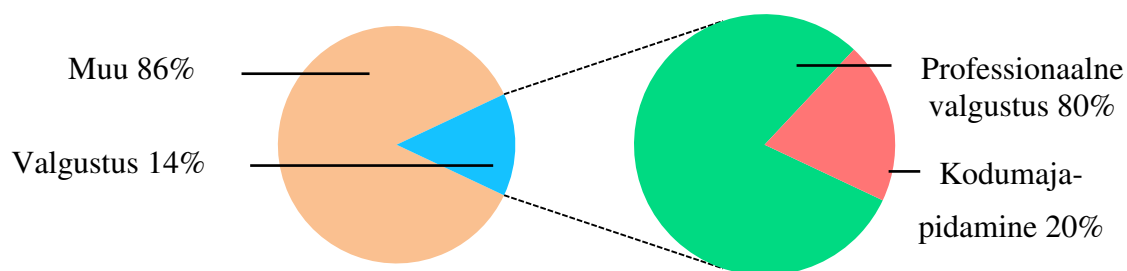
Kasvuhoonegaaside vähendamise meetmete globaalsete kulude kurv „tavapärasest ärist” edasi minnes; kasvuhoonegaasid mõõdetud GtCO_2e^1

- Umbkaudne vajalik vähendamine „tavapärasest ärist” kaugemale,



Joonis 1.7. McKinsey uuringu tulemused

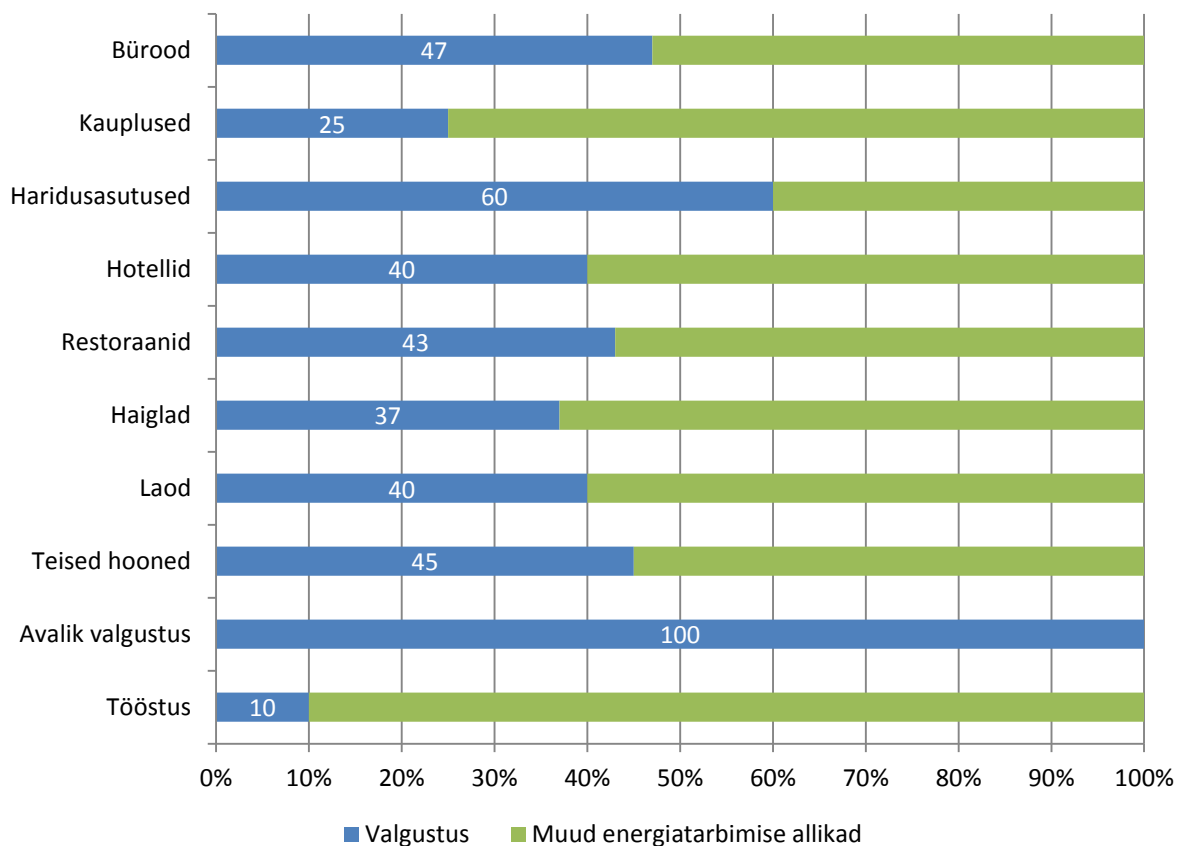
Nii kulub täna valgustusele ligi 14% kogu elektrienergiast Euroopa Liidus (joonis 1.8) [12].



Joonis 1.8. Valgustuse elektrienergia tarbimine Euroopa Liidus aasta kohta

Arvestades, et Eestis oli 2012. aastal elektrienergia lõpptarbimine 25127 TJ, moodustab 14% sellest 3517,78 TJ.

Suurem osa sellest leiab kasutamist äri- ja avaliku teenistuse valdkonnas, haridusasutustes ja büroodes (joonis 1.9) [13].



Joonis 1.9. Valgustusele kuluva elektrienergia tarbimise osakaal eri sektorite tarbijate vahel

Energia tõhus juhtimine on tähtsaim panus piiratud energiaressurssidega säästlikult ümberkäimiseks ja ka kliima kaitsmiseks. Seetõttu kutsub juba Euroopa Nõukogu direktiiv 2002/91/EG liikmesriike üles määrama uutele ja olemasolevatele ehitistele energiatõhususe miinimumnõudeid [14]. Eestis on need sätestatud Ehitusseaduse § 3 lõikes 7². Energianõuded hoone sisevalgustusele täpsustab standard EVS-EN 15193:2007, mis muuhulgas määratleb sertifitseerimiseks vajaliku valgustusenergia arvvaartuse (**LENI**), mis näitab aastast valgustuspaigaldiste energiakulu ruutmeetri kohta. Mida väiksem **LENI** (ingl k *Lighting Energy Numeric Indicator*) väärtus saadakse standardis tooduga võrreldes, seda energiasäästlikum on ka valgustuslahendus [15, 16].

Energiatõhususe arendamise rolli tähtsus sai kinnitust ka energiamajanduse arengukava eelnõus aastani 2030. Arengukava üks strateegiline eesmärk on majanduse energiamahukuse vähendamine (konkurentsivõimet kahjustamata) ja energiasäästu suurendamine [17]. Tähtsat

rolli mängib siinjuures avaliku sektori eeskju nagu ka olemasoleva hoonefondi ja uute hoonetega seotud eeldatava energiatõhususe suurendamine [18].

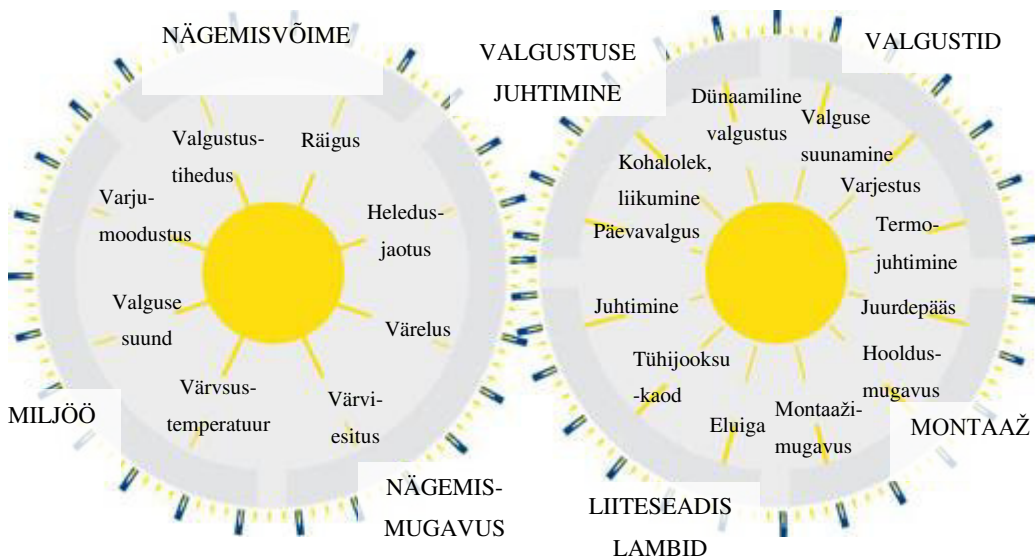
Energiaefektiivsus ei tähenda aga sugugi üksnes energia kokkuhoidu, vaid ressursside optimaalset kasutust. Energiaefektiivsed tehnoloogiad on keskkonnasõbralike, saasteainevaeste või -vabade energia-, liiklus- ja sotsiaalsüsteemide alus. Nende kasutamine tähendab väiksemat energiakulu suurema mugavuse ja kasulikkuse juures.

Energiaefektiivsete tehnoloogiate kasutamisel kõigis süsteemides ja terves väärtuste loomise ahelas vähendatakse olulisel määral ka fossiilsete energiakandjate kasutamist. [19]

Kuigi energia säästmine on oluline, ei tohi planeeritavate säästumeetmete all samal ajal kannatada valgustuse kvaliteet. Hea valgusplaneering asetab alati keskele kohale inimesed ja nende vajadused.

2. Energiaefektiivse valgustuse kriteeriumid

Energiaefektiivne valgustus kujutab endast üksteisega haakuvaid hammasrattaid, mis ühelt poolt vastutavad parema nägemisvõime, -mugavuse ja visuaalse õhkkonna eest ning teiselt poolt valgustussüsteemi intelligentselt efektiivse kasutamise eest hoolikalt valitud komponentide ning nende optimaalse juhtimise ja hoolduse abil (joonis 2.1) [21].



Joonis 2.1. Energiaefektiivse valgustuse komponendid

Tundes lähemalt mõlema hammasratta komponente, on võimalik tagada keskkond, mis on ühelt poolt energiasäästlik ning teiselt poolt toetab ja edendab inimese tegevust tema igapäevases elus.

2.1. Kvaliteetse valgustuse komponendid

Eelnevalt hinnati valgustuse piisavust mõõdetud valgustustiheduse alusel, hinnates valgustuse heaks, kui mõõdetud lukse oli rohkem, kui normid ette nägid [3]. Uue valgustusstandardi „EVS-EN 12464-1 „Valgus ja valgustus – töökohavalgustus osa 1: Sisetöökohad” kinnitamisega ühtlustati valgustusele ja selle projekteerimisele esitatavaid nõudeid.

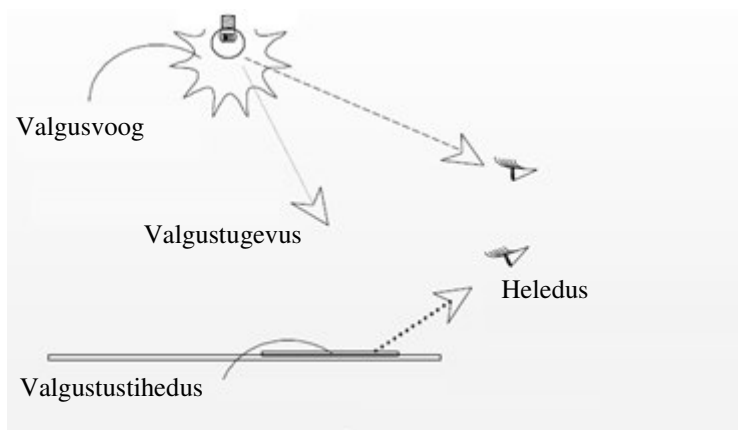
Standardi järgi ei mõisteta valgustuskeskkonna all ainult valgustustiheduse väärtust, vaid valgustuskeskkond sisaldab terve hulga tegureid: valgustustiheduse hooldeväärtus, heledusjaotus, räigus, valguse värelus (ehk väreluse puudumine), hea värviesitus, valguse näiv värv (ehk värvsustemperatuur), valguse suund, varjumoodustus ja päevavalgus [22].

Vaatamata sellele, et standardid on loomult soovituslikud, arvestavad nendes esitatud nõuded üldtunnustatud tehnikareegleid ning nende järgimine tagab enamasti parima, tehniliselt ja majanduslikult optimaalse, ohutusnõudeid arvestava lahenduse.

Hea nägemisvõime ja -mugavuse loomiseks tuleb valgustuse planeerimisel pöörata tähelepanu kõikidele valgustehnilistele kvaliteedimadustele.

2.1.1. Valgustustihedus

Valgustustihedus – on teatud pinnale langev valgusvoog pinnauhiku kohta ehk teiste sõnadega pind, millel valgustustihedust mõõdetakse või määratletakse (joonis 2.2). Valgustustihedust mõõdetakse luksides.



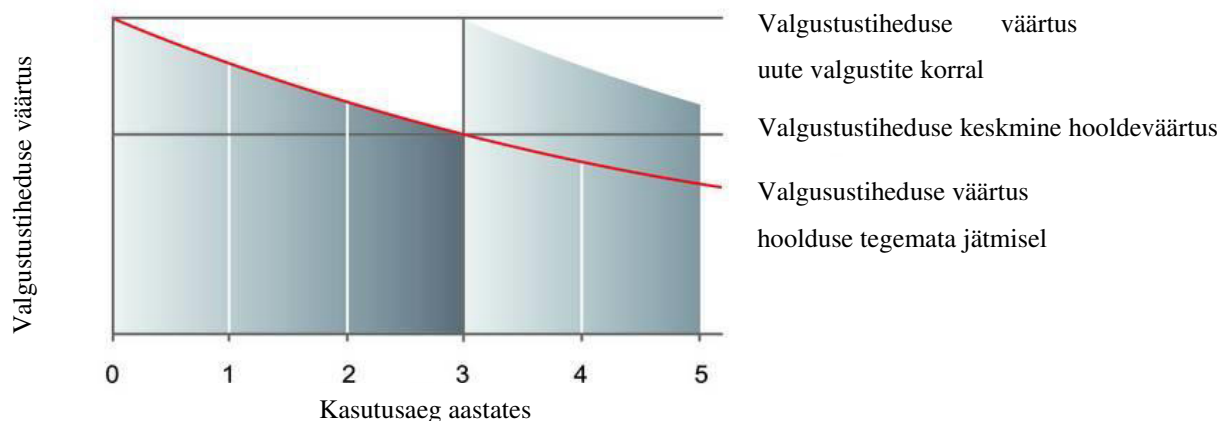
Valgusvoog – iseloomustab lambi kiirgusvoo valgusliku toimet, s.t kui palju valgust antud lambist välja tuleb, ühik lumen (lm)

Valgustugevus – on valgusallikast lähtuva antud suunda sisaldavas ruuminurvaelemendis leviva valgusvoo ja nimetatud ruuminurvaelemendi jagatis, mõõteühik kandela (cd)

Heledus – iseloomustab valgustugevuse näivat tihedust valgustandval või peegeldaval pinnal, s.t valgustatud ala heledust, mis jõuab vaataja silma, ühik kandela ruutmeetri kohta (cd/m^2)

Joonis 2.2. Valgustehnika põhimõisted [23, 24]

Standard sätestab valgustustihedusele keskmise hooldeväärtuse, millest madalamale see langeda ei tohiks (joonis 2.3). Valgustusseadme kasutusaega jooksul väheneb projekteeritav valgustustihedus valgustusseadme vananemise, määrdumise ja muude põhjuste tõttu.



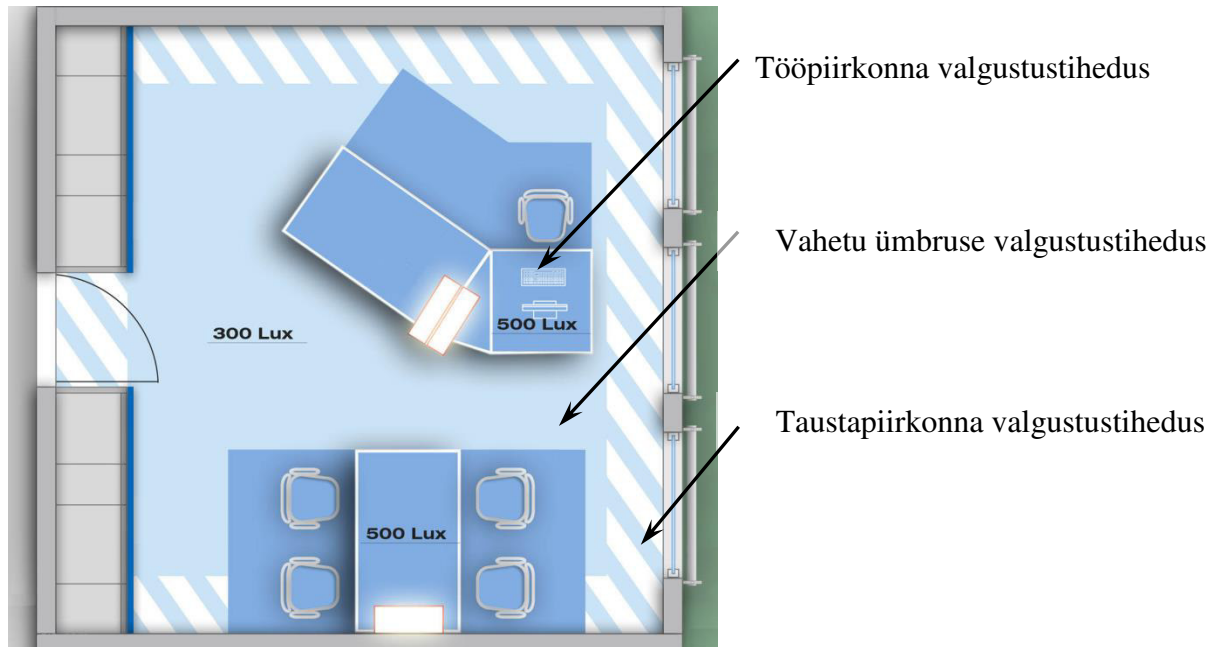
Valgustustiheduse väärtus uute valgustite korral

Valgustustiheduse keskmine hooldeväärtus

Valgustustiheduse väärtus hoolduse tegemata jätmisel

Joonis 2.3. Valgustustiheduse hooldeväärtus [25]

Kui tööruumis on erinevad nägemisnõuded, võib tööruumi jagada erineva valgustustiheduse järgi tsoonideks. Eristatakse tööpiirkonda, vahetut ümbrust (vähemalt 0,5 m laiune riba nägemisväljas ümber tööpiirkonna) ja taustapiirkonda (laiusega vähemalt 3 m vahetut ümbrust ümbritsev ala) [26].



Joonis 2.4. Valgustustiheduse tsoonid [43]

Valgustus peab vastama nägemisülesandele, mille väärtused on antud ette standardis EVS-EN 12464-1. Teatud tingimustel, nt vaegnägijate, eriti täpsete tööde jms puhul, näeb standard ette nõutavast suurema valgustustiheduse tagamise vajaduse.

Valgustustihedus sõltub ruutpöördvõrdeliselt valgusallika ja valgustatava pinna vahelisest kaugusest.

2.1.2. Heledusjaotus

Valgustustiheduse kõrval on tähtis ka valgustustiheduse ühtlus U_0 . Praegu kehtiva, 2011. aastal välja antud standardi kohaselt on tööpiirkonnas ühtluse minimaalne vahemik 0,4–0,7, sõltuvalt tööülesandest. Liiga ebahütlane valgustus koormab silma, põhjustades silmade väsimusest tingitud stressi, sh peavalu ja valu silmades [16]. Tööpiirkonna vahetus ümbruses peab U_0 olema $\geq 0,4$ ja taustapiirkonnas $\geq 0,1$.

Nägemisvälja heledusjaotus määrab silmade adaptatsiooniseisundi, mis omakorda mõjutab nähtavust. Olulised on seejuures kõigi pindade heledused: need sõltuvad lisaks valgustustihedusest ka pindade peegeldustegurist. Nii siledad seinad kui lagi, mis on värvitud heledates värvitoonides, tõstavad valgustaset pinnahelgeduse arvelt [27].

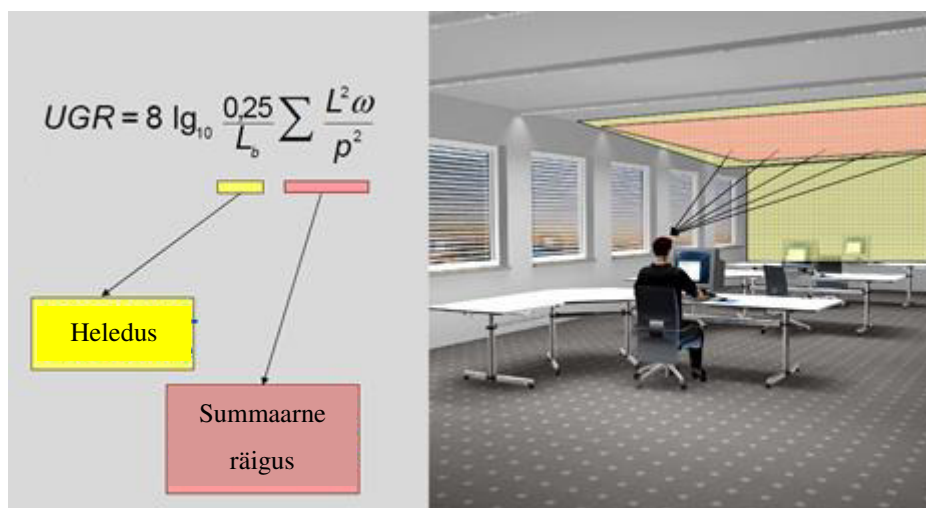
2.1.3. Rägus

Rägus on aisting, mida võivad kutsuda esile liigheledad alad nägemisväljas. See võib pimestada töötajat, halvendada nähtavust, väsitada ning kutsuda esile vigu ja tööõnnetusi.

Rägus avaldub kas diskomfort- või pimestusrägusena. Nii võib rägus tekkida nägemisväljas olevas katmata lambist, aknast paistvast eredast päikesest, peegeldavatel või läikivatelt pindadelt peegelduvast tugevast valgusest (joonis 2.5). Pimestamine võib nägemisvõimet märgatavalt vähendada ja järelkult tuleb seda piirata. Valgustuse standard määrab rägusele piirnormväärtusi, mida see ei tohi ületada. Standardis tähistatakse rägust tähisega *UGR* (ingl k *Unified Glare Rating*) (joonis 2.6) [24].



Joonis 2.5. Räguse näiteid kontoriruumides [23]



Joonis 2.6. Diskomforträgus [28]

Joonisel toodud valemis:

L_B – tausta heledus (cd/m^2)

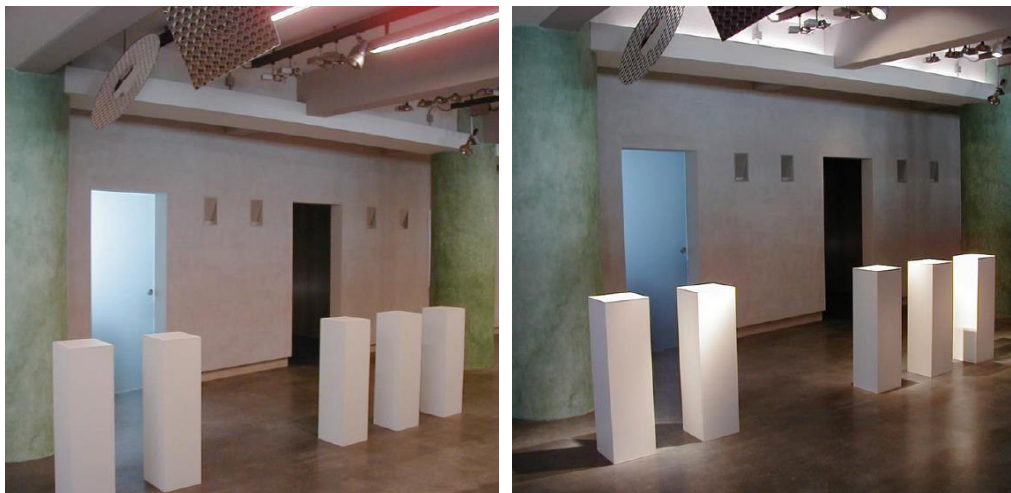
L – iga valgusti helendavate osade heledus vaatleja silma suunas (cd/m^2)

ω – iga valgusti helendavaid osi vaatleja silma asukohast haarav ruuminurk (sr)

p – iga valgusti Guthi suunategur nägemissuuna suhtes.

2.1.4. Varjumoodustus ja suundvalgustus

Ruumi üldmulje on parem, kui selle ehituslikud tunnusdetailid, inimesed ja esemed on valgustatud niiviisi, et nende kuju ja pinnastruktuure saab selgelt ja rahuldavalt ära tunda. Kindlast suunast langev valgus võib esile tõsta nägemisülesande peensusi, mis parandavad nende nähtavust, hõlbustavad töö sooritust ja loovad täiesti teistsuguse miljö (joonis 2.7) [26].



Joonis 2.7. Ruumiline tajumine [29]

Vältida tuleks liiga vähest ja liiga suurt varju. Valgustid on soovitatav paigaldada nii, et need kiirgaksid samast suunast nagu päevavalgus [30].

2.1.5. Valguse värelus

Vahelduvvoolu perioodilisusest tingitud värelus põhjustab silmade ärritust ja võib esile kutsuda haiguslikke füsioloogilisi nähtusi, mõjudes negatiivselt silmade nägemisrakkudele ja aju nägemiskeskusele. Selline värelus esineb magnetballastiga varustatud luminofoorlampidega valgustite kasutamisel [26, 24].

Värelusega kaasnev stroboskoopnähtus moonutab pöörlevate esemete tegeliku oleku nägemistaju. Nii näiteks võivad pöörlevad esemed näida kas liikumatutena või aeglasemalt ning tegelikule pöörlemisele vastassuunas pöörlevatena.

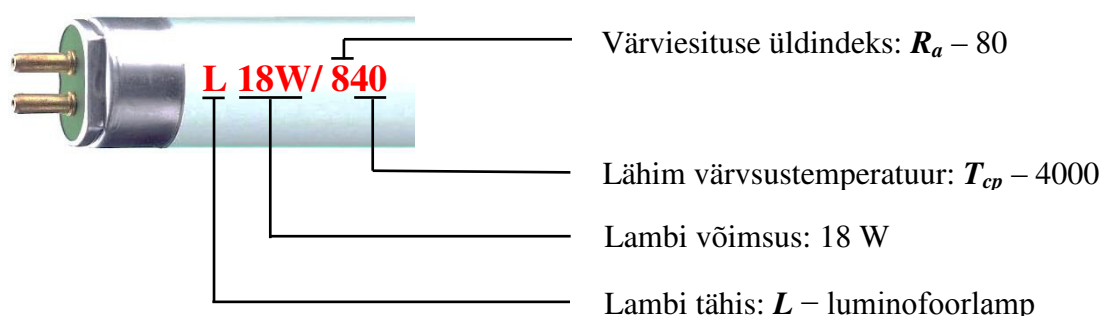
Värelusvaba valgustuse saavutamiseks soovitatakse kasutada tavaballasti asemel elektroonilisi liiteseadiseid või stroboskoopnähtusest vabanemiseks tavaballastide korral ka ainult lülitust erinevatele faasidele.

2.1.6. Värviesitus

Värviesitus iseloomustab, kui võrd loomutruud näivad valgusallika paistel inimesed, esemed või ümbrus. Mõnel töökohal on väga tähtis eristada õigeid värve, seda eelkõige töö kvaliteedi kontrollimisel.

Valgustite värviesitusomadusi kirjeldab värviesituse üldindeks R_a (joonis 2.8). Selle suurim ja parim väärtus on 100. Värviesituse kvaliteedi vähenemisel indeks R_a väheneb.

Ruumides, kus inimesed kestvalt töötavad, ei tohiks kasutada valgusallikaid, mille värviesitusindeks on alla 80. Standardis on määratud värviesitusindeksi vähimad lubatavad väärtused eri ruumides, eri tööde ja tegevuste juures [26].



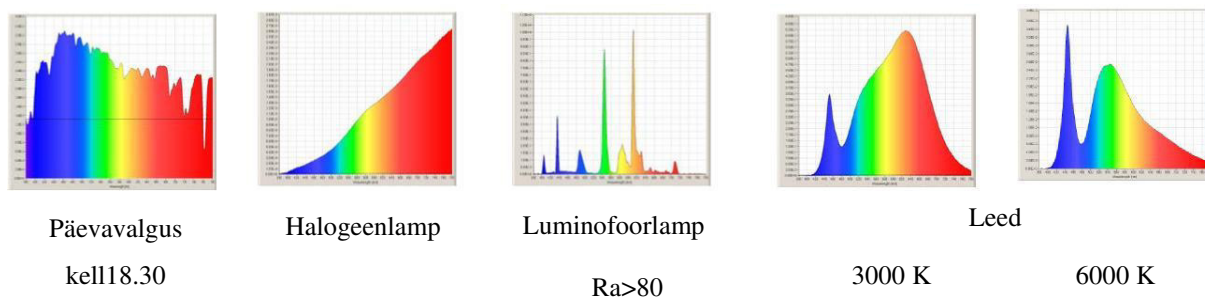
Joonis 2.8. Luminofoorlampide märgistus

Loomulike värvide tajumine on suhteline. Me näeme üldjuhul ainult värve, mida peegeldatakse esemetelt teatud valgustusolukorras. Nii on luminofoorlampide spektraaljaotusdiagrammis punane värv maha surutud. Seetõttu tunduvad lihatooted luminofoorlampi valguses värvi poolest teistsugused kui halogeenlampi käes (joonis 2.9). Selleks, et liha paistaks luminofoorlampide all isuäratavana, kasutatakse selleks spetsiaalselt välja töötatud spektraaljaotusega lampe.



Joonis 2.9. Lihatooted luminofoor- ja halogeenlampi valgusel [34]

Värve tajutakse kõige paremini päevavalguse käes (joonis 2.10) [33].



Joonis 2.10. Päevavalguse ja erinevate lampide spektraaljaotus [29]

2.1.7. Valguse näiv värv (Lähim värvsustemperatuur)

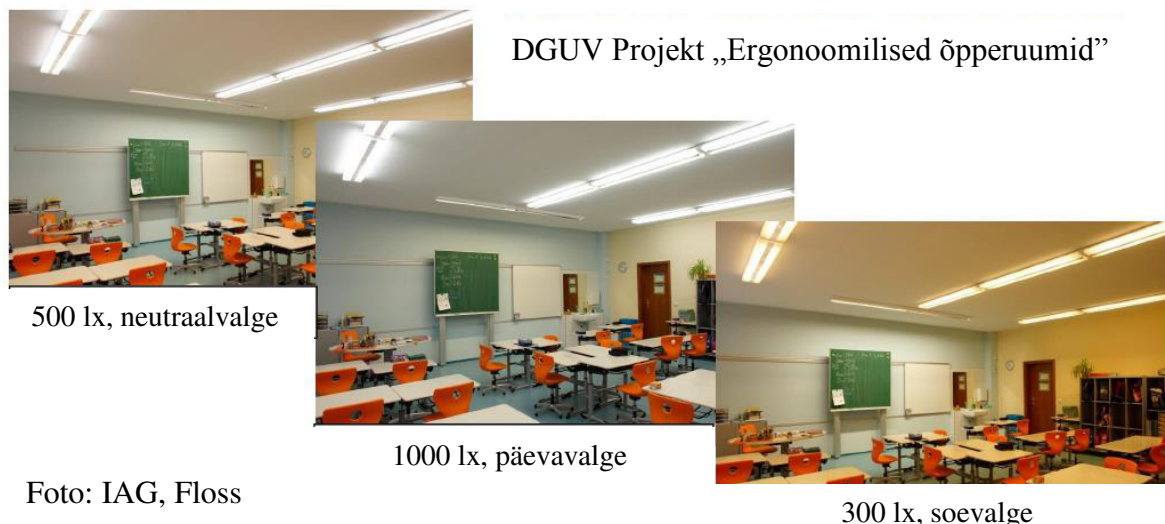
Valguse näiv värv iseloomustab valgusallikast kiirgava valguse värvitooni. Viimast kirjeldatakse lähima värvsustemperatuuri (T_{cp}) kaudu, mille mõõtühikuks on Kelvin.

Valguse värv mõjutab nägemisobjekti äratuntavust (eriti oluline turvavärvide korral), nägemisvõimet ja heaolutunnet, mis saavutatakse tõelisusega sarnase ja loomuliku värviesitusega [26].

Sõltuvalt ülekaalus olevast värviosast, toimub jaotamine valgusevärvide järgi järgnevalt (Tabel 2.1, Joonis 2.11):

Tabel 2.1. Lampide rühmitus valguse värvi järgi [26, 30]

Värvitoon	Lähim värvsustemperatuur T_{cp} (K)	Tajumine
Soe (soevalge)	<3300	Valgust tajutakse mugavana Värviosa: kaalukalt punane
Vahepealne (neutraalvalge)	3300–5300	Valgus tekitab austava, asjaliku meeleolu Värviosa: tasakaalustatud punane, sinine ja roheline
Külm (päevavalgusvalge)	>5300	Valgust soovitatakse siseruumidesse 1000 lx valgustustiheduse korral Värviosa: ülekaalukalt sinine



Joonis 2.11. Valgustus kolme erineva valgustajuvusega [35]

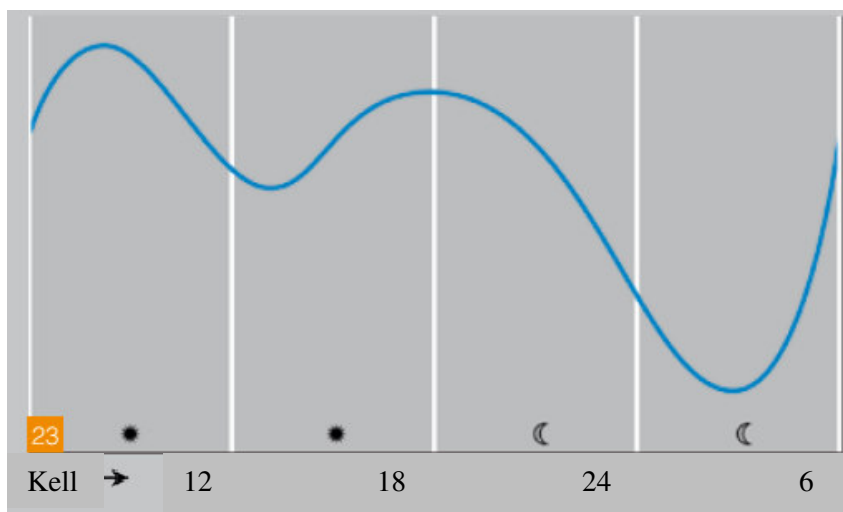
2.1.8. Päevavalgus

Töökohtade valgustamisel pole oluline pelgalt vastava nägemisülesande jaoks kohandatud valgustuse eest hoolitsemine. Määrava tähtsusega on ka see, kas valgustatakse loomuliku päevavalguse või tehisvalgusega.

Valgusküllaldase keskkonna planeerimisel ja hindamisel kasutatakse pilves taevast ehk taevavalguse mõistet (valgustustihedus ≥ 5000 lx), mis kujutab taevavalgusolukorda enamikul ajal Kesk- ja Põhja-Euroopas talvisel poolaastal ning on seetõttu päevavalgusega varustamise kriitilisim olukord [37].

Päevavalguse kasutamine võib täielikult või osaliselt katta nägemisülesande valgustusvajaduse, vähendades sh ka valgustuspaigaldise energiatarbimist. Päevavalgus on saadaval 85% päevadest kell 8–17 [35].

Loomulikul valgusel on funktsioone, mis ületavad pelgalt nägemisülesande täitmise. Nii varustab silma kaudu sisenev päevavalgus keha teabega, mida see näiteks vajab hormonaalsüsteemi reguleerimiseks, sisemise kella sünkroniseerimiseks (niinimetatud ööpäevarütmid, nt magamise-ärkveloleku või aastaegade rütm) ning eluliselt oluliste psühholoogiliste protsesside käivitamiseks [38]. Inimese töövõimeköver kulgeb sõltuvalt päevaajast (joonis 2.12).



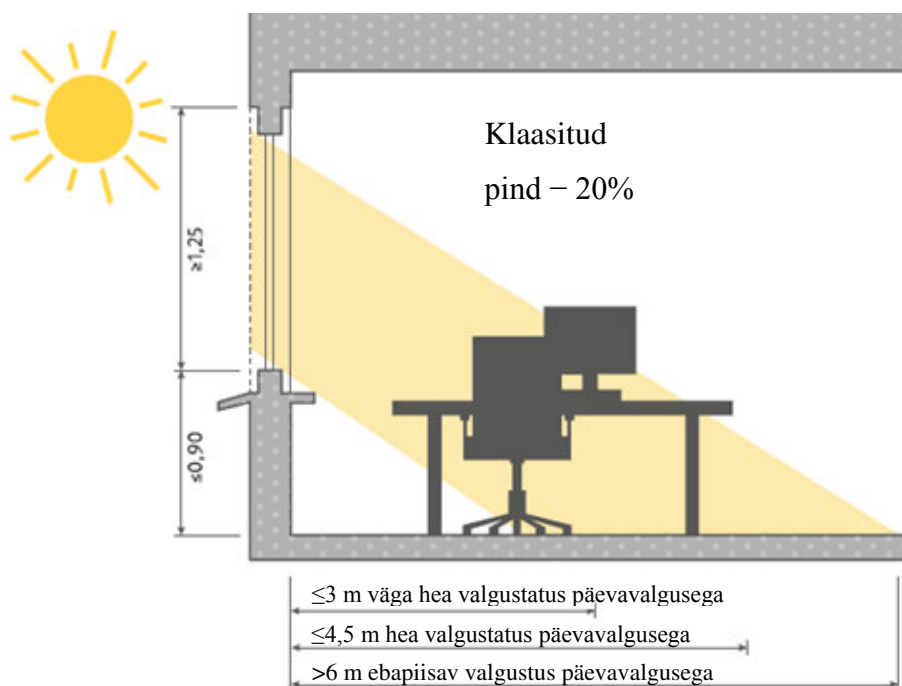
Kõige efektiivsemalt töötavad keha ja vaim ennelõunal ja hilisel pärastlõunal. Sügava une faasis kella kolme paiku on efektiivsus madalaim.

Joonis 2.12. Inimese töövõime kõver [44]

Päevavalguse pidev muutumine mõjub inimese organismile ergutavalt [14]. See tõstab inimese heaolutunnet, keskendumis- ja töövõimet ning tagab parema ohutuse töökohal. Kui pikemat aega on päevavalgusest puudus, tekivad füüsilised ja psüühilised häired, nagu peavalud ja depressioon [38].

Soovitusi päevavalgusega ruumide projekteerimise kohta on võimalik leida standardist EVS 894:2008 „Loomulik valgustus elu- ja bürooruumides”.

Töökoha küllaldane päevavalgusega valgustus sõltub töökoha paigutusest ruumis, kuna seinäavad toimivad valgustehniliselt vaid piiratud ruumisügavuseni (joonis 2.13).



Joonis 2.13. Aknast langeva päevavalguse osakaal [39]

Seinaavade eeliseks, sõltumata nende kaugusest töökohast, on visuaalse kontakti loomine loomuliku keskkonnaga [38].

Töötervishoiu ja tööohutuse seadusandlus soovib võimaldada töökohtade ruumi valgustamist päevavalgusega piisavas ulatuses. Samas on tavatöökohtadele seadusandlusega täpsemalt määratlemata eelnimetatud piisavuse määrad ja nende saavutamise eeldused. Välisriikides nagu ka mõnes Eesti õigusaktis määratakse vastav määr valgust läbilaskva pinna ja ruumi põranda pindala suhte kaudu – üldjuhul 1:10 (rooehitus 1:8).

Seda, kas ruum on päevavalgusega küllaldaselt valgustatud, iseloomustab päevavalgustegur [35]:

$$= \frac{\text{Valgustustihedus ruumis}}{\text{Taevavalguse valgustustihedus}} \times 100\%$$

Vastavalt EVS 849:2008 standardi „Loomulik valgustus elu- ja bürooruumides” mittesiduvale soovitusel ei tohi alaliste töökohtadega ruumides päevavalgustegur punktis, mis on ruumi keskel, tööpinna kõrgusel, tagaseinast 1 m kaugusel, olla väiksem kui 1%.

2%-lise päevavalgusteguri korral, mida käsitletakse kui minimaalset väärtust töökohtade jaoks, peaks päevavalguse ühtlustegur olema minimaalselt 0,3–0,5. Samas tuleb arvestada, et üksiku töölise tööülesande täitmise tsoonis kohal peavad valgustustiheduse ühtlusele esitatavad nõuded vastama standardi EVS-EN 12464-1 nõuetele, mis on käesolevas lõigus toodud väärtusest suuremad [40].

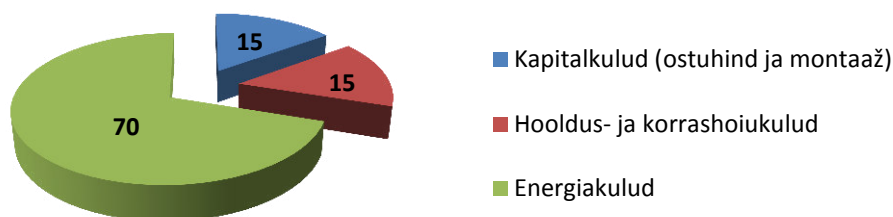
Ruumides, kus päevavalgust kasutatakse rohkem, ei või tähelepanemata jätta päikesekiirguse mõju, sh võimaliku pimestamise ohtu.

Päevavalgusest sõltuv valgustuse juhtimine parendab oluliselt valgustuspaigaldise energiatarbimist. Kunstlik valgustus lülitatakse sisse või reguleeritakse sujuvalt vastavalt vajadusele, kui päevavalgus ei kata vajavat valgusnõudlust. Tegemist on intelligentse valgustuse juhtimise ühe näitena, mis lisaks energia tarbimise vähenemisele pikendab ka liiteseadiste eluiga, kuna see töötab vastavas olukorras madalamatel temperatuuridel.

2.2. „Intelligentse” valgustussüsteemi komponendid

„Intelligentse” valgustussüsteemi eesmärk on luua energiaefektiivne valgustuskeskkond. Selle juures mängivad tähtsat rolli nii valgustuse kvaliteet, aga ka kasutatavate valgustuspaigaldiste energiatarbimine. Valgusti eluea kogukuludest moodustavad energiakulud enam kui poole (joonis

2.14). Energiatõhusate lahendustega tagame jooksvate energiakulude madalama taseme ja tehtud kapitalikulude kiirema tasuvuse võrreldes energiakulukamate lahendustega.



Joonis 2.14. Valgustussüsteemi kulude jaotus [12]

„Intelligentsed” valgustussüsteemid eristuvad selle poolest, et kõik selle osad aitavad kaasa kvaliteetse valgustuse loomisele ja energiatõhususe parendamisele (joonis 2.15).



Joonis 2.15. „Intelligentsed” valgustussüsteemi komponendid [29]

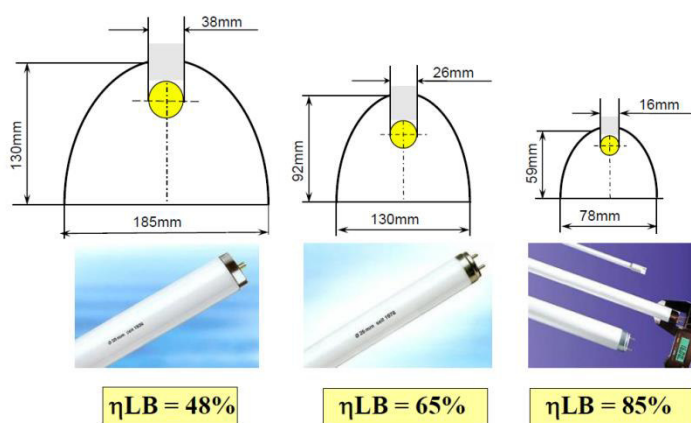
Parim energiaefektiivsus saavutatakse, kasutades kõrge valgusviljakusega lampidega varustatud energiatõhusaid juhitavaid anduritega valgusteid või valgustuspaigaldisi, mida ühtlasi korraliselt hooldatakse.

Eelnevalt tuleks ära määrata, missuguseid eesmärke, missugustes tingimustes ja milline miljö soovitakse valgustusega luua. Selleks, et väljatöötatud valgustuslahendus rahuldaks tulevasi kasutajaid, tuleks hoolikalt läbi mõelda, kus valgustust tegelikult vajatakse. Kas seda soovitakse suunata üle terve ruumi või saab piirduda valgustamisega üksnes teatud piirkonnaga, kus tegelikult tööd tehakse. Viimase variandi puhul ei kuluta me lisaenergiat mittevajalike piirkondade valgustamiseks ja see on EVS EN 12464-1 valgustusstandardi järgi aktsepteeritav. Varakult tuleks tähelepanu pöörata ka töökohtade paigutamisele. Hilisemad täiendused lisavalgustite näol toovad kaasa lisainvesteeringuid nagu ka energiatarbimise suurenemise.

2.2.1. Lampide ja valgustite tõhusus

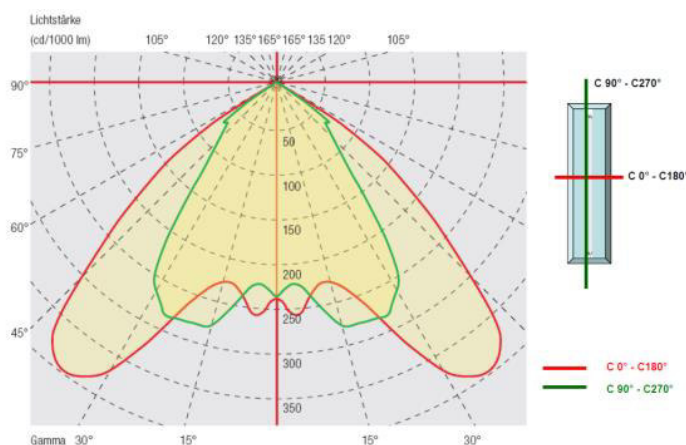
Energiaefektiivse valgustuse tähtsaimateks lülideks on energiatõhusad valgustid ja lambid või leedid. Enamus moodsaid valgusteid on ehitusviisist tulenevalt palju tõhusamad kui varasemad mudelid. Paljudesse kaasaegsetesse valgustitesse on integreeritud hoolikalt läbimõeldud valgustuse optiline süsteem, mille abil saab valgust soovitud suunas paremini juhtida [42]. Nii saab koostöös valgusviljakamate lampidega oluliselt tõsta valgustuspaigaldise efektiivsust, vähendades samal ajal tarbitavat energiat (joonis 2.16) [42, 45].

T12 (38mm) - T8 (26mm) - T5 (16mm) - Technik



Joonis 2.16. Luminofoorvalgustite efektiivsuse parendamise näide [29]

Valgusti valgusjaotust iseloomustab valgusti valgusjaotuskõver ehk polaardiagramm (joonis 2.17).



Joonis 2.17. Valgusjaotuskõvera näide [29]

Energiaefektiivsete valgustite valikul on oluline valgusti talitluskasutegur **LOR** (joonis 2.18) – lampide ja liiteseadise komplekteeritud valgusti koguvalgusvoo ja valgusti lampide valgusvoogude summa jagatis käiduoludes. Leedvalgustil **LOR**-i ei määrata.



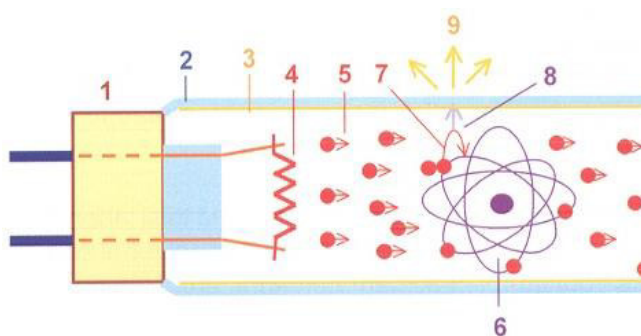
Joonis 2.18. Valgusti talitluskasutegurite näited [29]

Valgustuspaigaldise energiatõhusust ja pikemat eluiga mõjutavad ka valgusti liiteseadise energiaklass EEI ja liiteseadise kasutegur, valgusti vastavus keskkonnanõuetele (IP kaitseaste, mehaaniline vastupidavus jne), valgusti heakskiidutunnistus ja selle usaldatavus. [24].

Parim energiaefektiivsus on võimalik saavutada valgustussüsteemi täielikul uuendamisel [11]. Energiatõhusate lampide valikul on oluline pöörata tähelepanu nende valgusviljakusele (lm/W). Kasutatavad tehnoloogiad, sõltuvalt nende rakendamisvaldkonnast, muutuvad tehnika arengu tõttu pidevalt. Ühiskondlikes hoonetes on laiemat kasutust leidnud valgustid luminofoorlampidega, nende kõrval leiab sagedamini ka leedvalgusteid.

2.2.1.1. Luminofoorlambid

Luminofoorlambid tekitavad valgust gaaslahendusega. Töötamiseks vajavad need liiteseadiseid, mis võivad olla eraldiseisvad või ka integreeritud valgusallikasse (näiteks kompaktluminofoorlampide korral, mida kasutatakse nt hõõglampide asemel).



Torukujulise luminofoorlambi ehitus- ja talitluspõhimõte.

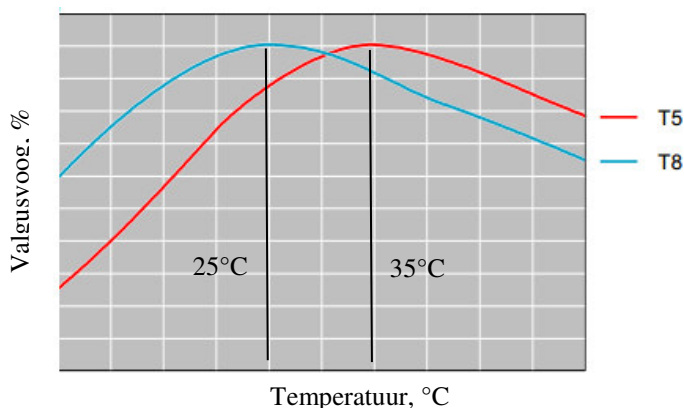
1 – sokkel, 2 – kolb, 3 – kolvi sisepinnale kantud luminofoorikiht, 4 – elektrood, 5 – elektronide voog, 6 – elavhõbeda-aatom, 7 – elavhõbeda-aatomi elektroni ergastumine ja naasmine stabiilsele tasemele, 8 – ultraviolettkiirguse kvant, 9 – luminofooris fotoluminesentsi tulemusel tekkinud nähtav väljundkiirgus.

Joonis 2.19. Luminofoorlambi ehitus ja tööpõhimõte [47]

Luminofoortorud kiirgavad valgust igas suunas. Kuna see pole optimaalne, kannavad peegeldavad reflektorid valgustites hoolt selle eest, et võimalikult palju valgust langeks soovitud suunda.

Luminofoorlampi tööiga on kuni 24 000 tundi T5-lampide korral, mis tähendab kuni 15 aastat kasutusaega. Nende lampide karakteristikud sõltuvad keskkonna temperatuurist (temperatuuril alla 10 °C väheneb lampi valgusvoog märgatavalt gaasi rõhu vähenemise tõttu lambis) (joonis 2.20). Lambi valgusvoog väheneb ka selle tööea lõpul. Levinumate luminofoorlampide hulka kuuluvad:

- klassikalised torud: T5 (läbimõõduga 5/8" = 16 mm), T8 (läbimõõduga 8/8" = 26 mm) ja T12 (läbimõõduga 12/8" = 38 mm) ja
- kompaktluminofoorlampid või nn säästulampid, nt G23, GX23 (2 kontaktiga, integreeritud starter), G24Q (4 kontaktiga) jne.[46]

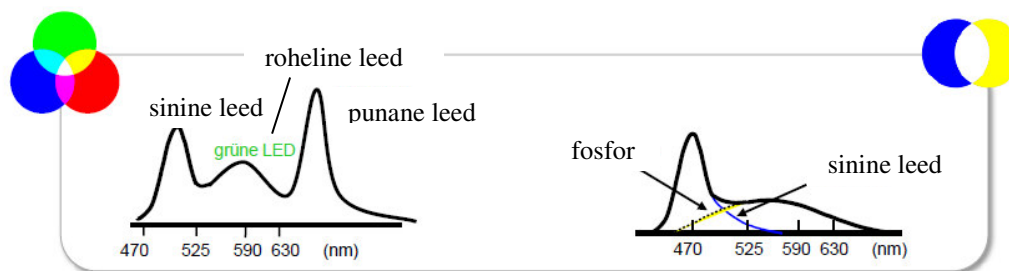


Joonis 2.20. Lambi valgusvoo muutumine sõltuvalt lampi ümbruskeskonna temperatuurist T5- ja T8-lampide korral [48]

2.2.1.2. Leedid

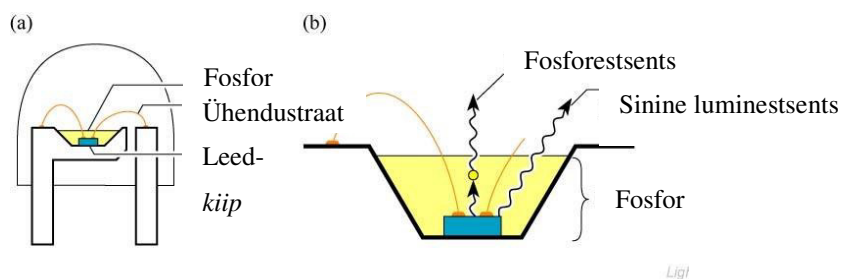
Leed ehk valgusdiodid (lühend inglise keelest **LED** – *Light Emitting Diode*) on p-n-siiret sisaldav pooljuhtvalgusallikas, mis ergastamisel elektrivooluga emiteerib spektri nähtavas alas optilist kiirgust [51].

Esimesed valget näivat valgust andvad leedid põhinesid kolme värvi kombinatsioonil (joonis 2.21).



Joonis 2.21. Valget näivat valgust andva leedi spektraaljaotusdiagramm [23]

Täna on valget näivat valgust andvad leedid üles ehitatud sinisele valgusdiodile, mis on p-n siirdetemperatuuri kõikumiste suhtes vähem tundlik (joonis 2.22) [51]. Valguse näiv värv saavutatakse luminofoorikihi kandmisel leedile.



Joonis 2.22. Sinisele valgusdiodile üles ehitatud leedmooduli ehitus [52]

Leedvalgusallikas koosneb ühest või mitmest leedmoodulist koos muude komponentidega, nagu näiteks optika, reflektor, jahutus- ja liiteseadis.

Selleks, et leedvalgustid töötaksid kaua, tuleb erilist rõhku pöörata järgmistele asjaoludele:

- Leedmoodul ja -valgusti vajavad korralikku jahutust, et hoida p-n siirde tunnus-ülemtemperatuur alla 85 °C, vastasel juhul hakkab leed ennast ise hävitama. Ilma jahutuseta võib leedvalgusti tööiga piirduda vaid mõnesaja tunniga. Ligi 60% kiirgavast energiast moodustavad leedvalgustite puhul soojuskaod [51]. P-n siirde tunnus-ülemtemperatuuri ületades leedi valgustusviljakus langeb, millega kaasnevad ka värvsus-karakteristika muutus ning eluea lühenemine.
- Leedvalgustite valikul tuleb eelistada testitud toodangut. Euroopas tagab selle ENEC ja tulevikus ka ENEC Plus sertifikaat.

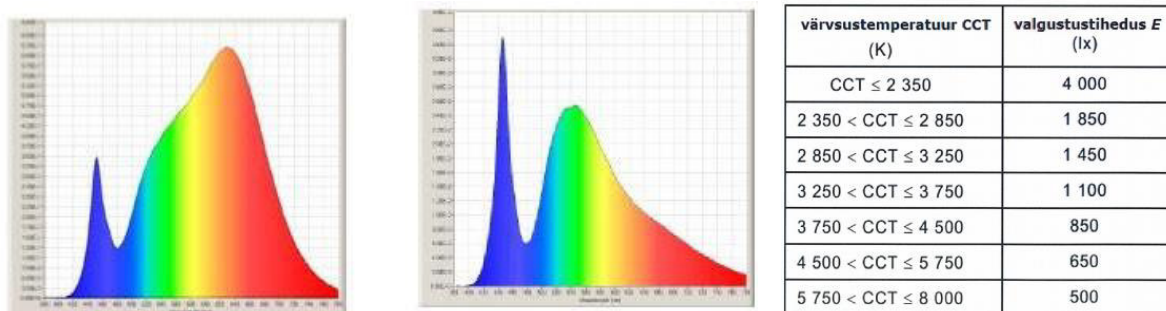
Viletsa kvaliteediga leedmoodulid, nagu ka leedide vilets koostekvaliteet võivad oluliselt mõjutada valgustite tööiga. Nii võib toote efektiivsus sama mooduli korral kõikuda isegi kolm korda [51].

Leedi eelised on järgmised:

- pikk eluiga võrreldes teiste valgusallikatega;
- kõrge energiatõhusus;
- valguskujunduse rohked võimalused tänu leedvalgusallika väikestele mõõtudele ja nende pakutavate värviefektide rohkusele;
- nende keskkonnasõbralikkus ning ultraviolet- ja infrapunakiirguse puudumine võimaldavad nende ohutut ja efektiivset kasutamist nii enamikes muuseumides kui ka toiduainetööstuses ja toitlustusasutustes [55, 46].

Leedide oluliseks miinuseks loetakse nende kõrget hinda.

Leedvalgustite puhul kõneldakse tihti valguse sinise spektriosa riskist (*blue light hazard risk*), mis on olnud paljudes riikides leedide kasutamise keelamise arutelu põhjus. Sinisel leedil põhineva valge leedi sinise spektriosa liiga suur intensiivsus võib tekitada probleeme valgustundlikel inimestel. Joonisel 2.23 on toodud välja valgustustiheduse väärtused sõltuvalt leedide värvsüsteemtemperatuurist [53]. Valgustustiheduse arväärtused, mis jäävad allapoole toodud väärtust, ei tohiks endast riski kujutada. Sinise valguse fotobioloogilise riski deklareerib tootja.



Joonis 2.23. Leedi spektraaljaotus ja riskirühma valgustustiheduse väärtused [29, 53]

Leedvalgustid on saadaval ka juhitanavana. Leedvalgustid on tõestanud end paljudes valdkondades. Selle toote kvaliteet võimaldab nende kasutamist ka siseruumide valgustamiseks.

Valgustehniliste omaduste poolest leiavad leedvalgustid positiivset tagasisidet, kuigi nendega harjumine võtab vahel veidi aega.

Leedvalgustite kvaliteeti saab usaldada vaid siis, kui neid on kontrollitud sõltumatus katselaboris, kuna osad tootjad ilustavad oma testimata toodete parameetreid. Nii näitas

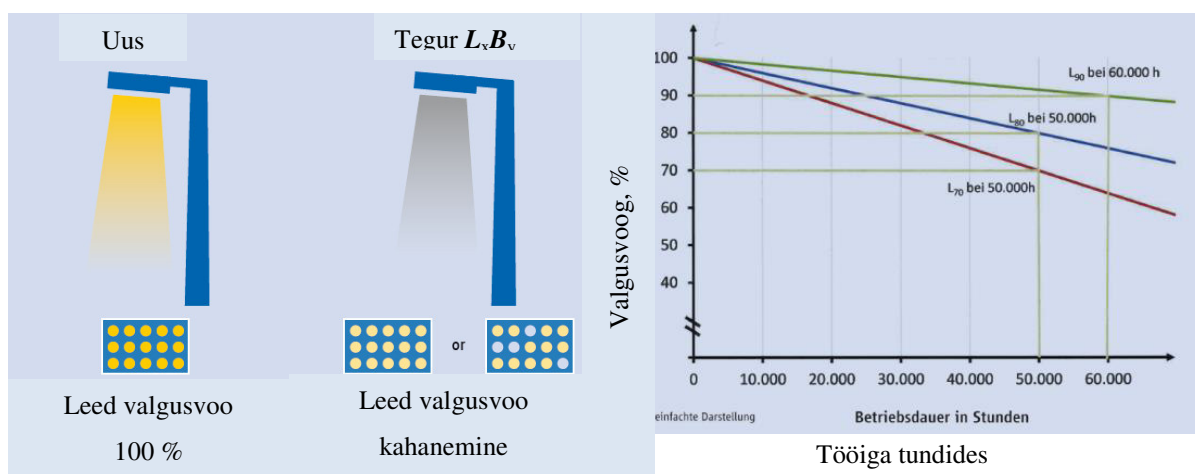
Saksamaal Darmstadti Tehnikaülikooli korraldatud uuring, et tegelikud valgusvoo ja valgusviljakuse andmed erinevad osati tootja märgitust 11–53% võrra. [56].

Leedvalgustite eluea käsitlemisel tuleb arvestada, et keegi ei ole leedtooteid 50 000 h jooksul katsetanud ja vaatamata antud lubadustele ei saa te sellele väitele ka mingit garantiid (joonis 2.24). Üldjuhul katsetatakse leedtooteid 6 000–10 000 tunni jooksul ja seejärel arvutatakse saadud andmete põhjal tehnilised parameetrid ja eluiga.



Joonis 2.24. Leedvalgustite rikkemise näited [57]

Leedvalgustite eluea andmeid deklareerib tootja L_xB_y teguri kaudu (joonis 2.25).



Joonis 2.25. Leedvalgustite valgusvoo muutumine sõltuvalt ajast[58]

Nii tähendab märgistus $L_{80}B_{10}$ – 50 000 h seda, et 50 000 tunni möödumisel on enamikul leedidel valgusvoost alles veel 80%, kuid 10% -l jääb siiski valgusvoog alla 80% [59].

2.2.2. Liiteseadised

2.2.2.1. Liiteseadiste tüübid

Liiteseadist kasutatakse kõrg- ja madalrõhulahenduslampidega valgustites, aga ka leedvalgustites, välja arvatud juhul, kui liiteseadis on lampi endasse sisse ehitatud [45].

Liiteseadised moodustavad ühenduse vooluvarustuse ja ühe või mitme luminofoorlampi või siis leedvalgusti vahel. Nende peamisteks ülesanneteks on voolu piiramine lubatud väärtusteni, võrgupinge muundamine, lampi (lampide) süütamine ning vajadusel hämardamine. Vahel on liiteseadisesse sisse ehitatud ka termokaitse, mis ei lase leedi tunnus-ülemtemperatuuril üle lubatava väärtuse tõusta. Kui lambid töötavad, kulutavad liiteseadised samuti voolu. Peamiselt tehakse vahet induktiivse ja elektroonilise liiteseadise vahel [42].

Kogu Euroopas kasutatavaid liiteseadiseid klassifitseeritakse CELMA välja töötatud energiakulukuse *EEI*-indeksi alusel, mis võeti kasutusele pärast Euroopa Liidu direktiivi 2000/55/EG kehtestamist (joonis 2.26). [45, 24].

A ₁	Juhitav elektrooniline liiteseadis	C	Induktiivne liiteseadis
A ₂	Mittejuhitav elektrooniline liiteseadis		Valmistamine ja sissetoomine keelatud Euroopa Liidus alates 21.11.2005
A ₃	Mittejuhitav elektrooniline liiteseadis	D	Induktiivne liiteseadis
B ₁	Väikesekaoline induktiivne liiteseadis		Valmistamine ja sissetoomine keelatud Euroopa Liidus alates 21.05.2002
B ₂	Väikesekaoline induktiivne liiteseadis		



Joonis 2.26. Liiteseadiste energiatõhususindeks (*EEI*) [29]

Tähtedele A või B järgnev number iseloomustab energiakulu, kus väiksem number näitab väiksemat energiakulu ning suurem suuremat. Vahepeal lisandunud alaklassid A₁BAT ja A₂BAT (BAT – *the Best Available Technology*) on oma eelkäijatest, A₁- ja A₂-energiaklassist

energiasäästlikumad [45]. Mida parema klassi liiteseadis on, seda energiasäästlikum on valgustuspaigaldise kasutamine.

Erandiks on siin A₁- ning A₁BAT-energiaklass. A₁-energiakulu võrdsustatakse 100%-lisel valgustasemel A₃-energiakuluga ja A₁BAT-klassi energiakulu A₂ energiakuluga [24]. Tegemist on juhitavate liiteseadistega, millele lisandub tühijooksuvõimsus, st liiteseadis on ooterežiimil, kui seda eraldi välja ei lülitata. Lisaks iseloomustab liiteseadise energiatõhusust tema enda kasutegur, kuna sama energiamärgise piires võib see erinevatel toodetel olla väga erinev [45].

Uue direktiiviga 2005/32/EÜ, mis asendas seni kehtinud direktiivi 2000/55/EÜ, on plaan järkjärgult loobuda liiteseadiste energiatõhususklasside jaotamisest tehnika järgi, vaid piirduda süüteseadme enda kasuteguriga – st et kuidagi pole ette kirjutatud, et nt klassi A₂ on võimalik saavutada ainult elektrooniliste liiteseadisega või et induktiivseid liiteseadiseid ei tohi enam kasutada. B₁- ja B₂-energiaklassi liiteseadiste tootmine ja sissevedu Euroopa Liitu lõpetatakse 13.04.2017 [60].

2.2.2.2. Induktiivsed liiteseadised versus elektroonilised

Induktiivsete liiteseadiste puuduseks on suured energiakaod, reaktiivvoolu suur osakaal, kaal, müra, valguse värelus jne. Energiakulukamad liiteseadised (klass C ja D) keelustati suure energiakulu tõttu kahes etapis ning nende järeltulija on väikesekaoline liiteseadis.

Väikesekaoline induktiivne liiteseadis, mis kuulub energiaklassi B₁ ja B₂, on sisse ehitatud paljudes väljaehitatud lahendustes. Selle liiteseadise kaod moodustavad umbes 14% luminofoorlampide võimsusest [42].

Liiteseadiste uusim põlvkond on niinimetatud elektronliiteseadised, mis töötavad üle 30 000 hertsisel sagedusel. Sedatüüpi liiteseadise eelis seisneb selles, et lambi voolunull läbitakse nii kiiresti, et elektronide keskmine tihedus on kaarlahendusplasmas peaaegu konstantne ning puudub vajadus süütamistsükli kordamiseks, millega on välistatud valguse värelus ja stroboskoopnähtuse tekkimine.





Elektronliiteseadise kasutamisel on lisaks eespool mainitule rida muid eeliseid võrreldes vanema tehnoloogiaga:

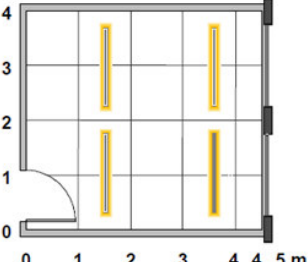
- väiksem võimsuse tarbimine tavapärasel kasutamisel võrreldes induktiivse liiteseadisega, kuna tõstab ka valgusti energiatõhusust;
- elektronliiteseadised võimaldavad lampide säästvat süütamist, mis omakorda vähendab lambi koormust ja suurendab selle tööiga;
- väiksem valgusvoo vähenemine luminofoorlampide eluea jooksul;

- lambi tööea lõppedes vigase lambi (ja kõik ühe seadise järel olevate lampide) väljalülitamine kuni nende asendamiseni uutega, millega on välistatud vigase valgusti vilkuma jäämine kuni hoolduse tegemiseni;
- kuni nelja lambi ühendamise võimalus ühe liiteseadise taha, induktiivsel liiteseadise külge oli võimalik ühendada maksimaalselt kaks lampi [24, 42].

Juhtivate liiteseadiste tööiga on mittejuhitavatest pikem, kuna tänu anduritele on liiteseadise töötemperatuur reeglina madalam.

Nagu igal uuel tehnoloogial on ka elektronliiteseadiste kasutamisel skeptikuid. Elektronliiteseadiste pakutavate vaheldusrikkamate lahendustega ei saa aga induktiivsete liiteseadistega varustatud süsteemid enam konkureerida. Samuti leiavad elektronliiteseadised rakendust uuemates efektiivsemates valgustites ja paremate omadustega lampides, mis ühtse süsteemina viivad energiaefektiivsema lahenduseni ja energiakulu vähenemiseni (joonis 2.27).

Valgusti				
Luminofoorlampid	2 x 65 W	1 x L58 W	1 x L58 W	1 x FH35 W
Liiteseade	induktiivne	väikekaoline ind.	elektrooniline	elektrooniline
Valgustustihe [lx]	520	539	518	500
Elektri tarbimine [W]	620	260	220	154
[W/m ²]	34	15	12	10



Joonis 2.27. Valguslahenduste energiaefektiivsus [29]

2.2.2.3. Leedvalgusti liiteseadised

Täna on leedvalgusti liiteseadis märksa enam kui lihtsalt toiteallikas pinge muundamiseks leedmooduli jaoks. Leedide liiteseadised võivad olla lampi sisse ehitatud sarnaselt luminofoorlampi valgustiga.

Valgustuse juhtimine leedvalgustites sõltub sellest, kas see on liiteseadisesse sisse ehitatud või ei ole. Leedide liiteseadistele täna standardid puuduvad, mis tekitab segadust leedvalgusti valdkonnas.

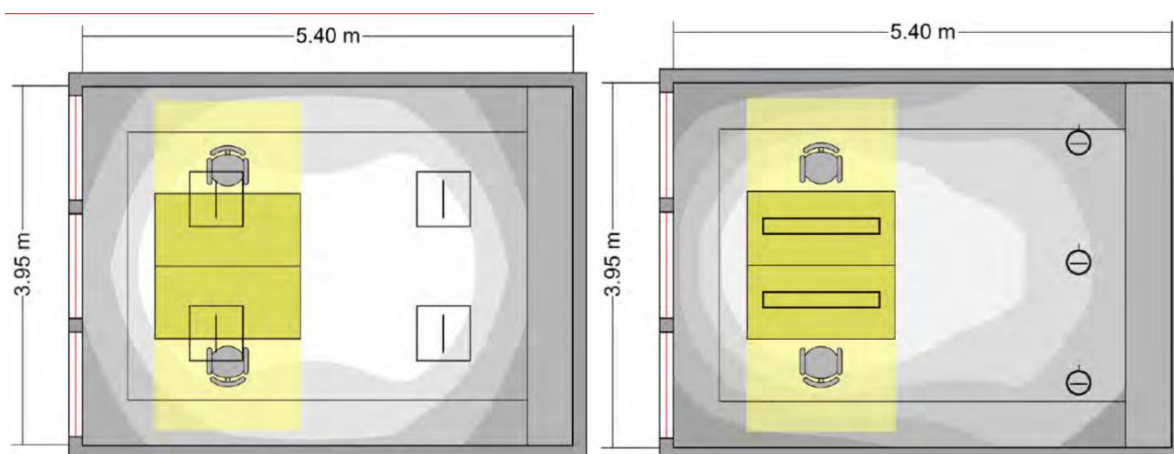
Tundmatu päritolu leedvalgustites on vahel kasutusel liiteseadised, mis ei vasta Euroopas kehtivatele ohutusnõuetele.

2.2.3. Valguse ja valgustuse juhtimine

2.2.3.1. Valgustuse juhtimissüsteemid

Professionaalse valgusjuhtimise eesmärk on kasutada valgustussüsteemi mugavalt ning vähendada ehitise energiatarbimist ning hoolduskulusid [48, 62]. Valgustuse juhtimine loob konkreetseks tööks või siis miljööks vajalikud valgustingimused, tagab visuaalse ergonoomia ja kasutajale suunatuse, mis omakorda suurendab ka töötajate produktiivsust ja võib olulisel määral mõjutada valgustuspaigaldise energiatarbimist [41]. Selle põhikriteeriumideks on:

- tegevusest lähtuv planeerimine (joonis 2.28) [42];
- lülitigruppide kasutamine diferentseeritud valgustamiseks;
- ja valguse dünaamiline kohandamine [44].



Ruumipõhine valgustus, kus kogu ruum valgustatakse ühtlase normikohase valgustusega, v.a 0,5 m riba, kus valgustustihedus on ühe astme võrra madalam.

Töökohapõhine valgustus – tööpiirkond on teada ja on valgustatud normikohase valgustusega, ruumi teised piirkonnad on valgustatud valgustustiheduse astme võrra madalamalt. Vastab standardile EVS-EN 12464-1:2011

Joonis 2.28. Töökoha- ja ruumipõhine valgustus [23]

Valgusjuhtimise mugavus ja energiasääst väljenduvad valgustuse automaatses süttimises või kustumises kooskõlas tegeliku vajadusega, nagu ka hämardumises, et hoida tööpinnal püsivat valgustustihedust [62]. Valgustuse juhtimissüsteeme võib programmeerida nii üksikutele valgustitele kui ka eraldi ruumide ja koguni kogu hoonele [41].

Mida vähem kunstlikku valgust täiendavalt sisse lülitatakse ja mida väiksem on nende hämardustase, seda suuremad on energia ja CO₂-sääst.

Valgustuse juhtimise sõnapaar tähendab valgustist väljuva valgusvoo reguleerimist ja kontrollimist. Muudetavate ja kontrollitavate parameetrite hulka kuuluvad:

- valguse jaotus
- valgustustihedus
- valguse näiv värv (dünaamiline valgustus)

Töökohtade valgustamiseks kasutatavatest valgusjuhtimisstandarditest kasutatakse valdavalt:

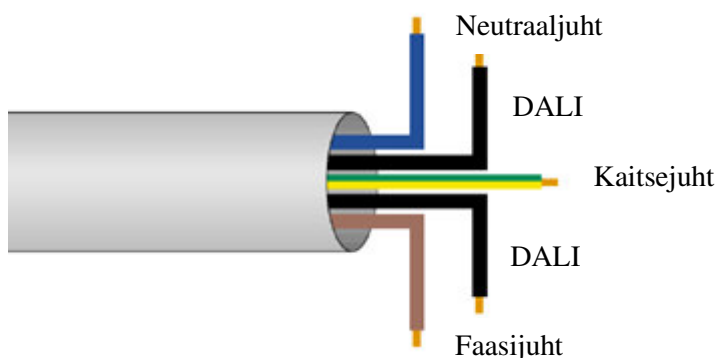
- 1–10 V analoogjuhtimist
- digitaaljuhtimist, DSI ja DALI

Digitaalsignaali abil juhtimisel muudetakse valgustustaset lähedaselt silma tundlikkuskõverale. Digitaaljuhtimine põhineb 8-bitisel Manchesteri koodil, milles andmed edastatakse pideva voona ning bititasemed 1 ja 0 esindavad erinevaid pingetasemeid.

DALI ja DSI juhtimise protokollid on samas erinevad, kummagi protokolliga juhtimine võimaldab anda 255 erinevat juhtimiskäsklust, mis kasutajale väljenduvad valgustustasemes. [48, 24]

DALI (ingl k *Digital Addressable Lighting Interface*) annab igale valgustile oma aadressi ning võimaldab neist igäüht eraldi ja erinevalt juhtida, kasutades juhtimiseks vaid eraldi kahesuunalist digitaalsignaali edastavat tugevvoolujuhet. Kuigi juhtimisliin on üks, saab sama juhtme kaudu moodustada samade valgustitega erinevaid juhtimisgrupe. DSI juhtimisel moodustuvad grupid juhtimestuse kaudu ja nende muutmiseks tuleb muuta juhtmete paigaldust. DALI-juhtimissüsteemis edastatakse juhtimiskorraldus kõikidele DALI-liiteseadistele, kuid korraldusele alluvad ainult need, millele see on määratud. Sõltumata valgustite asukohast, saab soovitud valgustusstsenariumi väga täpselt määratleda. DALI-liiteseadised võivad samal ajal olla erinevate gruppide liikmed.

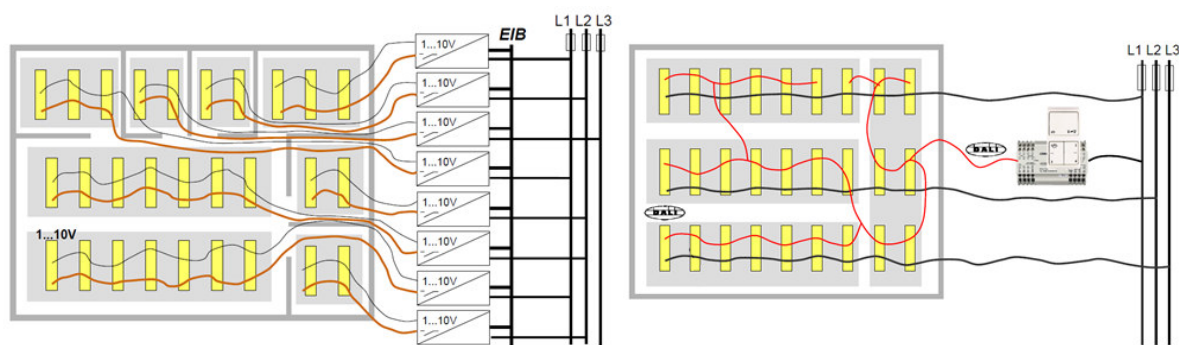
DALI-süsteemi on lihtne paigaldada. Ühest juhtimisliinist piisab kuni 64 adresseeritava seadise juhtimiseks, sellest suurema vajaduse korral saab seda võimendite kasutamisel laiendada. Need 64 aadressi saab jagada kuni 16 grupi ja 16 stsenaariumi vahel [64]. Juhtimisliin ühendatakse vahetult valgustitele, samasse juhtimisahelasse võib ühendada ka päevavalgus-, kohaloleku- ja liikumisandureid. Juhtimisliiniks tuleb kasutada tugevvoolu juhtimestikku ja selle maksimaalne pikkus on 300 m ($1,5 \text{ m}^2$) (joonis 2.29). DALI-tööpinge juhtimisahelas on 9,5–22,4 V ja süsteemi maksimaalne lubatud koormus on 250 mA.



Joonis 2.29. DALI-süsteemis kasutatav juhe [29]

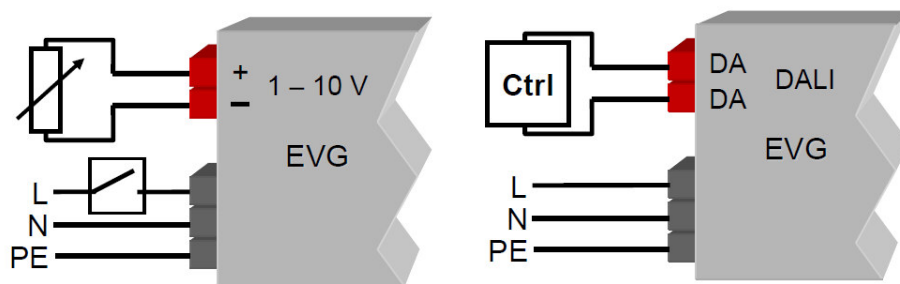
Täna on DALI-standard Euroopa liiteseadiste standardis “EN60929 Annex E” all ning kohustab erinevate tootjate tooteid omavahel ühilduma, st suhtlema DALI-protokollis [48,62]. Nii kuulub DALI-valgusjuhtimissüsteem põhilahenduste hulka ja omab teistega võrreldes rida eelisi:

- Digitaalsel juhtimisel on juhtimissignaal müra eest kaitstud ja nii jõuavad toimingute korraldused iga valgustini ühesugusena ja üheaegselt. Analoojuhtimisel võib signaal liini alguses erineda liini lõpu väärtusest [64].
- Analoojuhtimise korral erinevalt DALI-st peavad grupid juba eelnevalt paika pandud olema ega ole vastavalt vajadusele enam muudetavad. Iga valgusti ja juhtimisgrupi jaoks peab analoojuhtimisel paigaldama eraldi juhtimisjuhtme (joonis 2.30).



Joonis 2.30. Analoojuhtimise 1–10V- ja DALI-valgusjuhtimissüsteemi ühendus valgusallikatega [VBG]

- DALI korral on lülitus ja hämardus kombineeritud funktsioonid, samas analoojuhtimisel on need kaks erinevad funktsioonid (joonis 2.31).



Joonis 2.31. DALI- ja 1–10V-juhtimisliiteseadise ühendamine

- Erinevalt DSI-juhtimissüsteemist võimaldab DALI valgustiga kahepoolselt suhelda.

DALI-protokollil baasil on tootjad välja töötanud terve hulga eelprogrammeeritud lahendusi, mis on kohe pärast paigaldust tööks valmis ega nõua kasutajalt erilisi tehnilisi teadmisi süsteemi häälestamiseks [24].

Uuemate valgustite juhtimise tehnoloogiate hulka kuulub EnOcean juhtmevaba akupatareideta tehnoloogia, mida iseloomustatakse kui lihtsat, energiasäästlikku ja keskkonnasõbralikku lahendust. Käesolev tehnoloogia ei vaja juhtmeid ja töötab raadiotehnoloogia põhimõttel, sagedusel 868 MHz. Juhtmevabad lülitid ja andurid varustavad end liikumisest, valgusest või isegi temperatuuri kõikumisest tuleva energiaga, on hõlpsalt paigaldatavad ning hooldusvabad (joonis 2.32) [65].

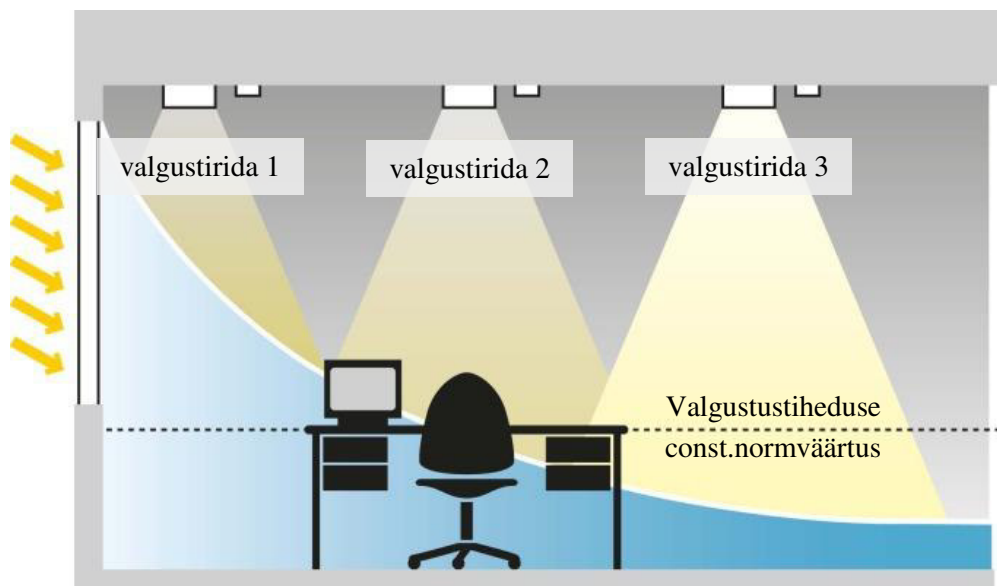


Joonis 2.32. EnOceani juhtimissüsteemil töötav valgustussüsteem

Valgustuse juhtimise kaudu saab tagada töökoha valgustuse vastavalt selle vajadusele ja ruumide, töökohtade tegelikule kasutamisele. Selle kaudu on võimalik olulisel määral mõjutada valgustuspaigaldise energiatarbimist ning tõsta nii selle energiatõhusust. Tegelikult saavutatav energiasäästupotentsiaal sõltub aga väga palju kasutaja käitumisest. Kasutajasõbralikud lahendused ja eelnevalt paikapandud valgustusseened tõstavad kasutajate rahulolu ja valgustuse juhtimise aktiivset kasutamist.

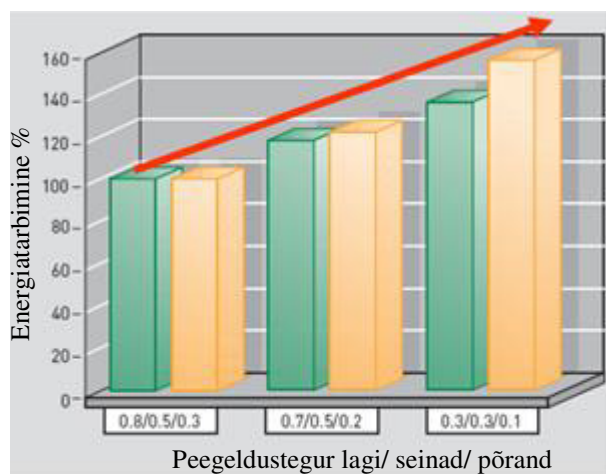
2.2.3.2. Päevavalgusjuhtimine

Valguse juhtimine toimub ideaaljuhul päevavalgusest sõltuvalt. Kunstlik valgustus lülitatakse sisse või reguleeritakse sujuvalt vastavalt vajadusele, kui päevavalgus ei kata vajavat valgusnõudlust (joonis 2.33).



Joonis 2.33. Päevalgusjuhtimise tööpõhimõte [66]

Energiatõhusam lahendus saavutatakse seejuures heledate lagede, seinte ja põrandate korral, kuna nende peegeldustegur on suurem (joonis 2.34, 2.35) [44, 30].



Joonis 2.34. Energiatarbimise sõltuvus pindade peegeldustegurist



Joonis 2.35. Näited pindade peegeldusteguritest [29]

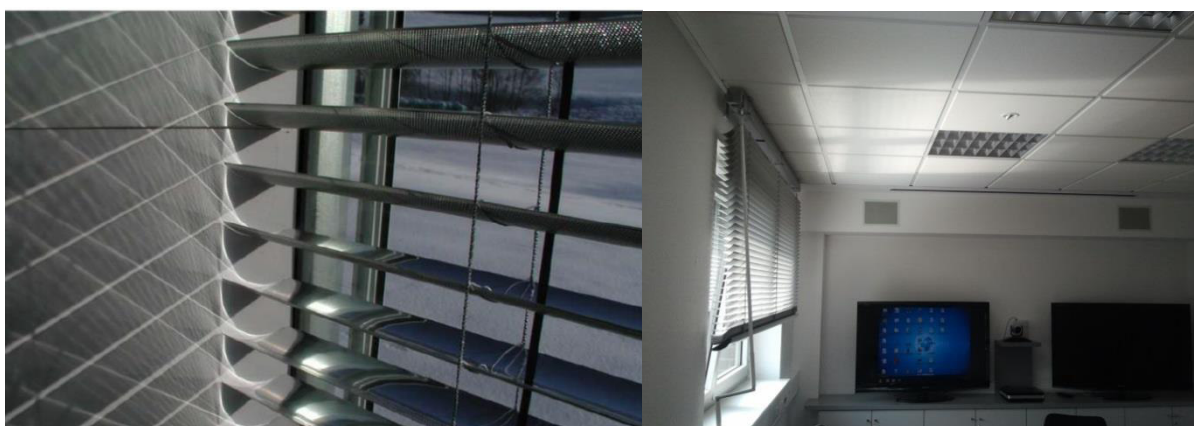
Lisaks valgustuse energiatõhusale juhtimisele vähendatakse samal ajal ruumide soojuskoormust lampide soojuskadude arvelt.

Praktikas on täheldatud, et piisava loodusliku valguse korral ei märgata täiendavat kunstlikku valgustust peaaegu üldse, mistõttu unustatakse see sageli uuesti välja lülitada. Päevavalgusest sõltuv valgustuse juhtimine tagab valguse väljalülitamise piisava päevavalguse olemasolul. Lisades ka kohalolekuanduri, tagatakse valgustuse väljalülitamine, kui kedagi ruumis ei ole. See aga viib energiatarbimise vähenemiseni ja paigaldise energiaefektiivsuse paranemiseni.

2.2.3.3. Päikesekaitse

Päikesekiirguse pimestamise ja ruumide ülekuumenemise mõju vältimiseks on tähtis päikesekaitsete kasutamine töökohtadel. Päikesekaitsete valikul tuleks arvestada, et töötajatele tuleks tagada vajaduse korral nähtavus väljapoole, mistõttu osa kaitsetest, nagu näiteks rulood, ei ole töökohtadel kasutamiseks sobilikud. Eriti laia kasutust on leidnud seejuures osaliselt valgust läbilaskvad lamellkardinad ja lihtsamad ribakardinad. Neid saab kiiresti ja lihtsalt vastavalt vaatenurgale reguleerida ning nende hind on paljude tarbijate jaoks soodne. Samas ei tähenda odavus kvaliteeti ega rahulolu. Eelnimetatud toodete puhul ei kasutata optimaalselt päikese pakutavaid võimalusi, vaid pimendatakse ruume, mis omakorda tähendab elektritarbimise kasvu ja soojuskoormuse suurenemist sisselülitatud valgustite tõttu.

Päikesekaitsete valik on suur. Käesolevas töös pööran lühidalt tähelepanu valgust suunavatele ribikardinatele. Need on lihtsamast variandist küll kallimad, samas suunavad valgust lakke ja ruumi sisse paremini kui teised tooted ja loovad valgusrikka keskkonna tööruumides töötajat pimestamata (joonis 2.36).



Joonis 2.36. Valgust suunavate ribikardinate näide [29]

Päevavalgusest tingitud pimestamise vältimiseks ei tohiks ekraanid paikneda vahetult akna all. Miinimumkaugus on soovitatavalt 60 sentimeetrit [29].

2.2.3.4. Valgustuse juhtimine andurite kaudu

Valguse reguleerimine saab toimida ka liikumis- ja kohaoleku andurite kaudu ehk kehtib printsiip – valgust on vaja vaid ajal, kui ruumis viibib töötaja [67].

Liikumisandurid märkavad inimeste kohalolekut ja lülitavad valgust vastavalt vajadusele. Kui ruumis ei viibi kedagi, lülitatakse liikumis- ja kohalolekuandurite signaali kaudu valgustus välja või siis seda reguleeritakse enne lõplikku väljalülitamist programmeeritud madalamale valgustustihedusele. Viimane variant on tarbijate aktsepteerimise poolest soodsaim. Liikumisandurite kasutamine tasub ära eelkõige vähem käidavates piirkondades. Nii võib näiteks koolides piirata liikumisanduritega tualettruumides tehisvalgustuse kasutamist. Ruumides, kus ventilatsioon on valgustusega ühendatud, on õigeaegne väljalülitamine suurenenud energiakulu tõttu eriti oluline [67].

Lisaks anduritega juhtimisele saab energiatarbimise vähenemist saavutada ka valgustuse ajalise juhtimisega. Nii on Saksamaal Frankfurti koolide klassides end tõestanud vahetunniks automaatne valgustuse väljalülitus. Pärast vahetundi peavad kasutajad uuesti otsustama, kas kunstliku valgustuse järele on tõepoolest vajadus [69].

Ajalise juhtimise eeliseid võiks rakendada aga eelkõige nädalavahetustel. Nii saaks asutustes, omakorda hoida kokku tühijooksurežiimil töötavate elektrooniliste liiteseadiste arvelt energiakulu.

Energiaefektiivse juhtimise seisukohast on end tõestanud järgnevate automatiseerimisstrateegiate rakendamine:

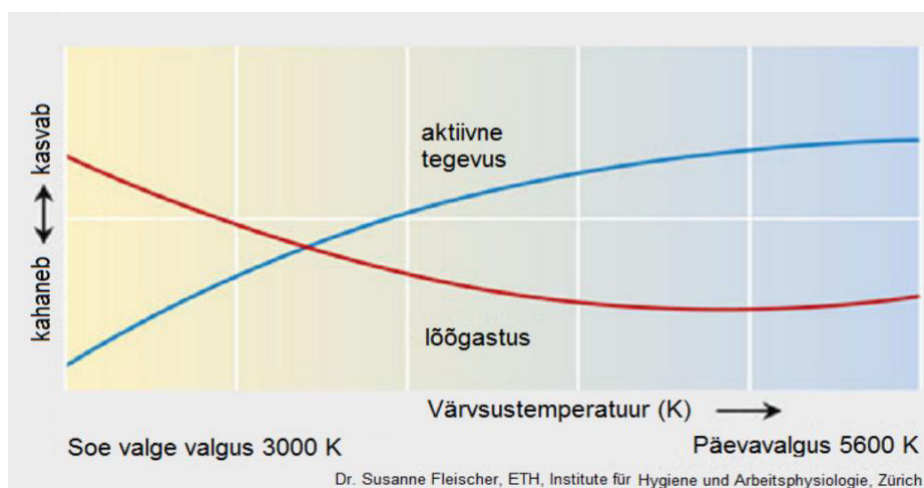
- Ruumivalgustuse käsitsi sisselülitamine
- Automaatne väljalülitus inimeste äraolekul (vajaduse korral koos eelneva hämardamisega)
- Automaatne reguleerimine vastavalt saadaolevale päevavalgusele, saavutamaks konstantset valgustustaset [37]

2.2.3.5. Valgustuse dünaamiline juhtimine

Kunstliku valgusega valgustatud ruumid küll toetavad inimese päeva-öö-rütmi, kuid ei suuda asendada päevavalgust. Inimese organismi mõjutavat päevavalguse ergutavat mõju saab ruumides, kus päevavalguse osakaal pole suur, tagada valgustuse dünaamilise juhtimise kaudu. Nõnda saab tõsta nii valgustuspaigaldise energiatõhusust selle parameetrite ja koostisosade

juhtimise kaudu kui ka parendada töötajate tähelepanuvõimet, keskendumist, töövalmidust ja üldist heaolutunnet.

Dünaamilise valgustuse juhtimise uuringud tõestasid, et külmalt valge, jahe valgus, mis sarnaneb päevavalgusega, muudab inimese ärksaks ja aktiivseks. Soojal valgel valgusel on aga lõdvestav, rahustav toime (joonis 2.37). Sooja, kollaka tooniga valguse juures, nagu ka nõrga heleduse korral langeb inimese serotoniinitase ja suureneb melatoniini eritumine. Serotoniin on ärkamist juhtiv hormoon, mis lihtsustab närvisüsteemis üleminekuid. Melatoniin on bioloogiliste rütmide tagamise ja ärkveloleku/magamise tsüklite eest vastutav hormoon.



Joonis 2.37. Valguse värvustemperatuuri mõju töötaja aktiivsusele [71]

Sinise spektriga valgustus surub melatoniini eritumist tõhusalt alla, millega on võimalik mõjutada ka näiteks inimese öise väsimuse edasinihkumist [29]. Saadud teadmisega jõuti järeldusele, et vastavalt vajadusele võib valgustusega nõnda nihutada ka ööpäevarütmi vastavalt ajahetkele 1–3 tundi päevas ette- või tahapoole. Aktiveeriv, päevavalgusevalge, kõrge valgustustugevusega valgus võib aidata õpilastel varajasel õppetundide alustamisel parandada tähelepanuvõimet, keskendumist ja üldist heaolutunnet.

Ka õhtuses vahetuses õppimisel pärast pikka tööpäeva, nagu seda kohtab õhtu- ja ülikoolides, saab dünaamilise valgustuse juhtimisega (jahe, hele valgus tunni alguses) inimesi uuesti motiveerida. Et inimese sisemist kella, mis lülitub õhtutundidel rahule ja puhkamisele, rütmist mitte välja lüüa, peaks saama valgustust pool kuni kolmveerand tundi enne tunni lõppu lülitada soojade valgusvärvide peale [72].

Hetkel veel ei osata hinnata dünaamilise valgustuse kogu mõju inimese organismile. Vastuseta jäävad veel küsimused, kuivõrd suur on mänguruum dünaamilise juhtimise kasutamisel ja kas

võib tekkida ööpäevarütmi segiajamise oht. Samas on dünaamilise valgustuse impulssidena kasutamise mõju inimese erksamaks muutmisel ennast uuringutes tõendanud. Tõendust on leidnud ka dünaamilise valgustuse juhtimisega saavutatav energiatarbimise efekt. Nii näitas Philipsi ja Hamburg-Eppendorfi Ülikoolikliinikumi koostöös toimunud uuring õpilastel dünaamilise valgustuse mõjul lugemise kiiruse suurenemist 35% võrra ja saavutatavat energiasäästupotentsiaali sõltuvalt ruumist 54–58% induktiivsete liiteseadistega luminofoorvalgustite asendamisel elektrooniliste liiteseadistega dünaamilise juhtimisega valgustuspaigaldise vastu.

2.2.4. Hooldus

Iga süsteem on nii kaua töökindel, kuni on tagatud selle iga elemendi töökindlus. Töökindluseks nimetatakse toote omadust täita määratud ülesannet nõnda, et kasutusomadused säilivad etteantud tööea jooksul [50]. Hooldus mängib siinjuures tähtsat rolli.

Valgustuspaigaldise hooldevälpa iseloomustab selle hooldetegur (MF). Mida väiksem on selle väärtus, seda suurem on hooldussagedus ja sellega kaasnevad hoolduskulud ning seda suurema varuga tuleb valida projekteeritud valgustuspaigaldise võimsust. See tähendab aga omakorda valgustuspaigaldise energiakulukamat käitlemist – rohkem valgusteid, võimsamad lambid ja liiteseadised. Keskmise valgustustihedus ei tohiks vahetult enne järgnevat hooldust langeda allapoole standardis nõutavat arvväärtust [26].

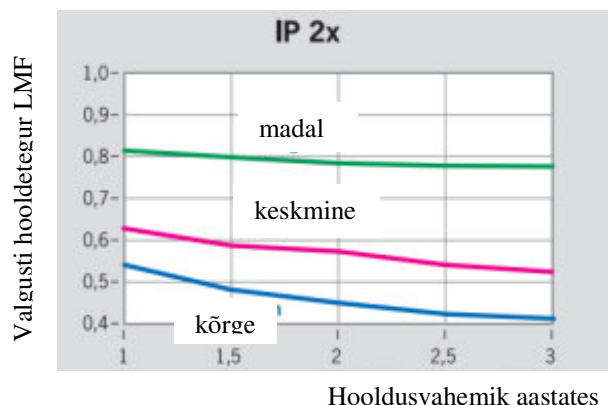
Valgustuse hooldetegur määratakse järgmise valemiga:

$$MF = LLMF \times LMF \times RSMF \times LSF$$

kus:

$LLMF$ – lambi valgusvoo hooldetegur: iseloomustab lambi valgusvoo vähenemist seoses lambi vananemisega [32]. Nii on uuemate lampide valgusvoo vastupidavus oluliselt suurem võrreldes vanemate tehnoloogiatega, nt T8-lampide valgusvoo vähenemine on kiirem kui T5-lampidel. See aga tähendab sagedasemat lampide vahetust.

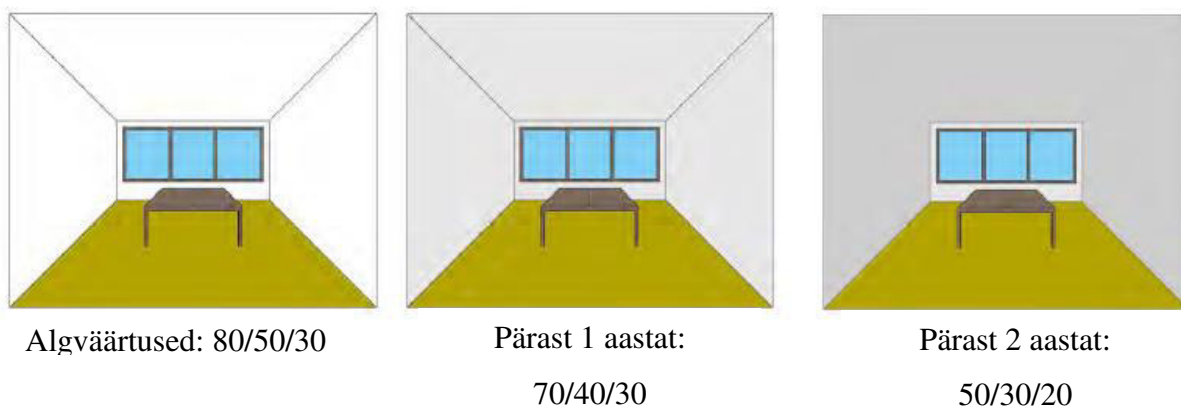
LMF – valgusti hooldetegur: võtab arvesse valgustite mustumisest tingitud valgusvoo vähenemist (joonis 2.38).



Joonis 2.38. Näide valgusti määrdumisest kontoritingimustes ja LMF-i sõltuvusest määrdumisastmest IP2x valgusti korral (CIE 154:2003 järgi) [36]

RSMF – ruumipindade hooldetegur: arvestab ruumi pindade peegeldusteguri ja ruumi puhastamiskorda eelmainitud väärtuste säilitamiseks samal tasemel.

Olukorras, kus ruume ei puhastata nõuetekohaselt pika aja vältel, langeb selle pindade peegeldustegur, mis viib ka valgustustiheduse vähenemiseni (joonis 2.39).



Joonis 2.39. RSMF-i vähenemine seoses ruumide ebakorrapärase puhastusega

LSF – lambi elueategur: olukorras, kus defektseid lampe vahetatakse valgustis kohe pärast nende tuvastamist, võib selle teguri puhul võtta arvesse maksimaalse väärtuse – 1. Olukorras, kus lampe kontrollitakse vaid kord kvartalis, tuleks valgustite arv üledimensioneerida, mis viib energiatarbimise suurenemiseni [23, 24, 31, 32].

Eelnimetatud tegurite väärtused sõltuvad hooldevahemiku pikkusest, valgusti ehitusest (nt avatud või suletud valgusti), valguse suunast (nt ainult otse valgustamiseks) ning kasutatavatest valgusallikatest ja nende valgusvoo käitumise iseloomust sõltuvalt ajast.

Valgustussüsteem tuleb projekteerida, arvestades valitud lambi (lampide), valgusti(te), pindade peegeldustegurite, keskkonna ja sätestatud hoolduskava alusel kujunevat hooldetegurit (*MF*) [26]. Üksikasjalik hoolduskava peaks sisaldama nii lampide vahetamise kui ka valgustite ja ruumi puhastamise sagedust ning selle puhastamisviisi.

Päevavalgustuse projekteerimisel tuleb arvestada akende klaasistuse läbitusteguri vähenemist sadestunud saaste tõttu [26].

Valgustuspaigaldistel, kus valgustuse planeerija ei oska täiel määral arvestada tegureid, mis võivad mõjutada valgustustiheduse vähenemist, on lubatud võtta arvesse referentssuuruseid:

Puhtad ruumid – 0,8

Normaalse puhtusega ruumid – 0,67

Tugevasti määratud ruumid – 0,5

Hooldetegur 0,5 tähendab seda, et valgustustiheduse algväärtus peaks olema topelt üledimensioneeritud, et tagada valgustuse standardis sätestatud valgustiheduse hooldeväärtuse suurus hooldusperioodi lõpus.

Väljavahetatavaid luminofoorlampe käideldakse ohtlike jäätmetena, kuna need sisaldavad väheses koguses elavhõbedat. Elektriseadmete tootjad ja maaletoojad on kohustatud läbipõlenud lampe tagasi võtma, ning kandma hoolt nende töötlemise, realiseerimise või ümbertöötlemise eest [20].

3. Uurimistöö metoodika ja objekti iseloomustus

Lähtudes eespool mainitud energiamajanduse arengukava eelnõus sätestatud eesmärkidest, mille hulka kuuluvad muuhulgas

- avaliku sektori eeskuju ja
- olemasoleva hoonefondi energiatõhususe suurendamine, ning toetudes
- ZVEI ja Euroopa Energiakomisjoni seisukohale, et valgustuse uuendamine on üks soodsamatest ja efektiivsematest investeeringutest energiaressursside säästmiseks,

vaatleme konkreetse objekti näitel ruumide valgustuskeskkonda ja võimaliku energiasäästu potentsiaali.

3.1. Tallinna Tehnikaülikooli energeetikateaduskonna hoone iseloomustus

Käesoleva töö uurimisobjektiks valiti Tallinna Tehnikaülikooli energeetikamaja elektrotehnika instituudi ruumid, mis asuvad hoone 4. korrusel (joonis 3.1).

Käesoleva valiku põhjuseks oli energiakulukamate valgustuskomponentide kasutamine 4. korruse õpperuumides võrreldes teiste ruumidega samas majas, aga ka elektrotehnika instituudi soov kasutada uue tehnoloogia järgi projekteeritud valgustuslahendusi üliõpilaste õppeeesmärgil.



Ehituse periood	07.2002–07.2004
Ehitusalune pind	1396 m ²
Suletud netopind	5940 m ²
Kõrgus x pikkus x laius	24 x 49 x 39 m
Korruste arv	6

Joonis 3.1. TTÜ energeetikateaduskonna hoone [68, 73]

Tallinna Tehnikaülikooli energeetikateaduskonna hoone on valminud Arhitektibüroo Mai Šein projekti järgi. Ehitise peatöövõtjaks oli AS Remet, elektriprojekti koostaja AS Contactus.

TTÜ energeetikateaduskonna hoones on kasutusel maandatud neutraaliga 400/230 V pingesüsteem ning TN-S juhtmestik.

Magistraal- ja rühmaliinide puhul on kasutusel 5juhtmeline toitesüsteem, kus kõigis liinides on peale neutraalsoone (N) ka kaitsemaandussoon (PE), mille kaudu maandatakse elektriseadmete metallosad.

Hoone praegune üldvalgustussüsteem on ehitatud välja 2004. aastal. 4. korrusele ja aatriumi paigaldatud valgustid on Glamoxi ja Thorni tooted.

4. korrus on jaotatud kahte tsooni: instituudi töötajate tsoon, mis on võõrastele piiratud sissepääsuga, ja õppetsoon, kus asuvad üliõpilaste õpperuumid.

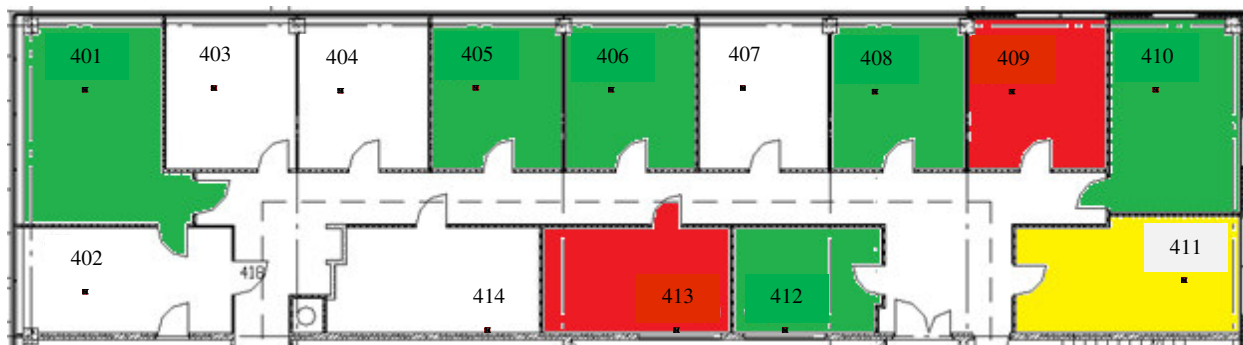
3.2. Töökohtade valgustuskvaliteedi hindamine ja uurimisruumide valik

Töökohtade valgustuskvaliteedi hindamisel selgus, et Energeetikamajas olid teostamata nii valgustus- kui ka õhuvahetuse projektijärgsed kontrollmõõtmised. Samuti ei ole pärast hoone valmimist tehtud elektrotehnika instituudis töökeskkonna riskianalüüsi, hindamaks töökeskkonnas esinevaid ohutegureid. Samas on tervise riskide hindamise läbi viinud TTÜ Ärikorralduse Instituudi töötaja Piia Tint 2011. aastal sama hoone 5. korrusel, elektroenergeetika instituudis, mis nii töökohtade paigutuse kui valgustehnilise lahenduse poolest sarnaneb 4. korrusega. Koostatud aruandes märgiti päevavalguse suurt osakaalu töökohtadel, mis aga ei saa asendada täiel määral vajadust kunstliku valgustuse järele. Töökeskkonna riskianalüüsis oli töökohtadel täheldatud „...vale valgus, valesti paigutatud valgustid, peegelduv valgus ekraanil...”, mis oli spetsialistide poolt hinnatud riskitasemega 3 (viiest). [75]. Parandusettepanekuna oli antud vaid soovitus puhkepauside pidamiseks (5 min iga töötunni kohta). Riskianalüüsi käigus tehtud valgustusmõõtmisi tehti päeval koos loomuliku valgustusega, mis TTÜ töökeskkonnaspetsialisti arvamuse kohaselt ei anna usaldusväärset infot valgustuskeskkonna kohta. Osades ruumides jäi mõõdetud valgustustihedus alla 500 lx. Aruandes märgiti ka, et „iga töötaja vajab individuaalset valgustust vastavalt eluviisile, silmade ja tehtava töö iseärasusele”. Osades ruumides märgiti olemasoleva õhuvahetuse ebaefektiivsust, mistõttu on CO₂ sisaldus veidi üle normi.

3.2.1. Töökohtade valgustuskvaliteedi hindamine küsimustiku alusel

Hindamaks elektrotehnika instituudi töötajate arvamust töökohtade valgustuskvaliteedi kohta paluti neil käesoleva töö jaoks vastata lühikesele ankeet-küsimustikule. Küsimustiku vorm on lisatud käesoleva töö lisadesse (L.1). Täidetud küsimustiku tagastas instituudi 13 töötajat, mis on u 50% tööruumide kasutajate arvust.

Küsimustiku vastustest selgus, et 69% vastanutest hindasid oma töökoha valgustuslahendust heaks. 23% arvates esineb valgustuskeskkonnas rida puudusi ja 8% töötajatest ei osanud võtta käesolevas küsimuses seisukohta, (joonis 3.2).

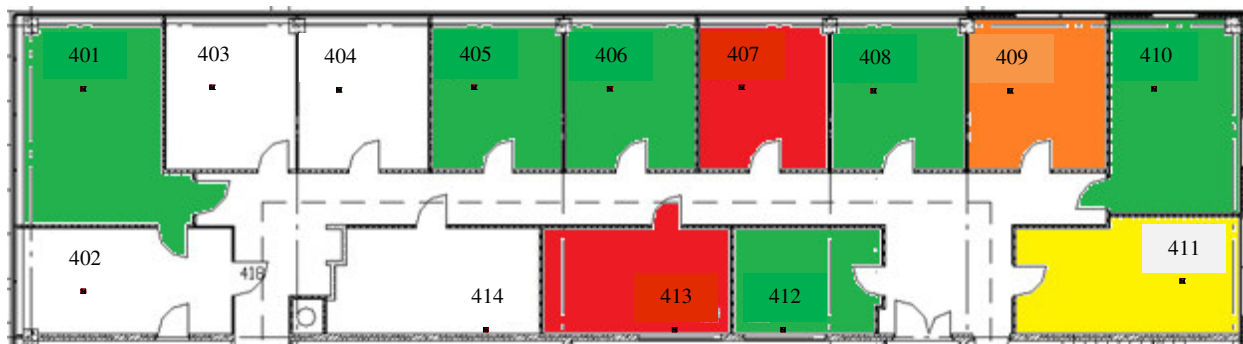


roheline – rahul, punane – esineb puudusi, valge – ei võetud osa või ilma seisukohata, kollane – lahkavamus vastanute vahel

Joonis 3.2. Vastuste jaotus küsimusele „Kas Te olete rahul oma töökohta valgustuslahendusega?”

Üks vastanutest märkis ära, et töötas varem ruumis ilma päevavalguseta, mistõttu ei osanud ta küsimusele objektiivselt vastata – võrreldes päevavalguseta ruumis töötamisega oli see töötaja jaoks juba oluline keskkonna muutus, mille üle ta oli väga rõõmus.

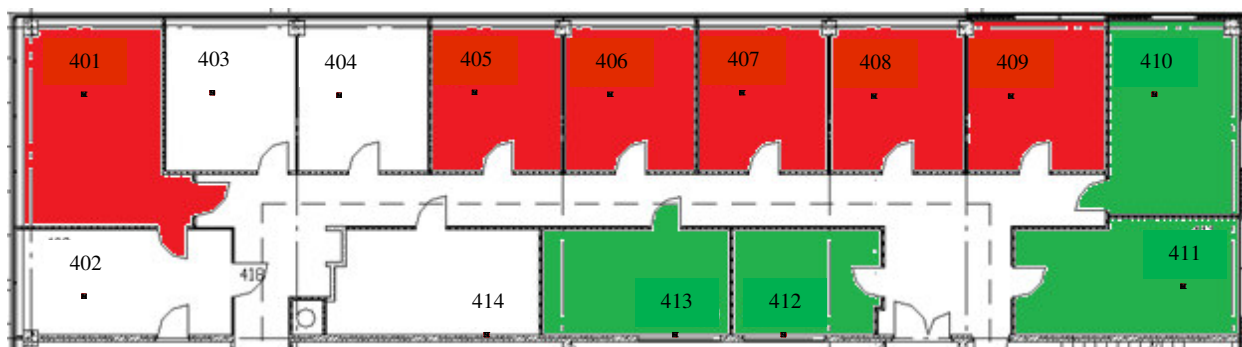
Ühe töötaja arvates on tema töökoht alavalgustatud, teised 23%-st leidsid, et töökohtadel esineb liiga ere valgustus (joonis 3.3).



roheline – optimaalne, punane – ülevalgustatud, oranž – alavalgustatud, kollane – lahkavamus vastanute vahel, valge – ei võetud osa või ilma seisukohata.

Joonis 3.3. Vastuste jaotus küsimusele „Kuidas te hindate oma ruumi valgustustaset?”

Üle 54% küsitletutest mainis, et nende töökohtadel esineb pimestavat päikesevalgust. 8% vastanutest ei osanud küsimuses seisukoha võtta (joonis 3.4).

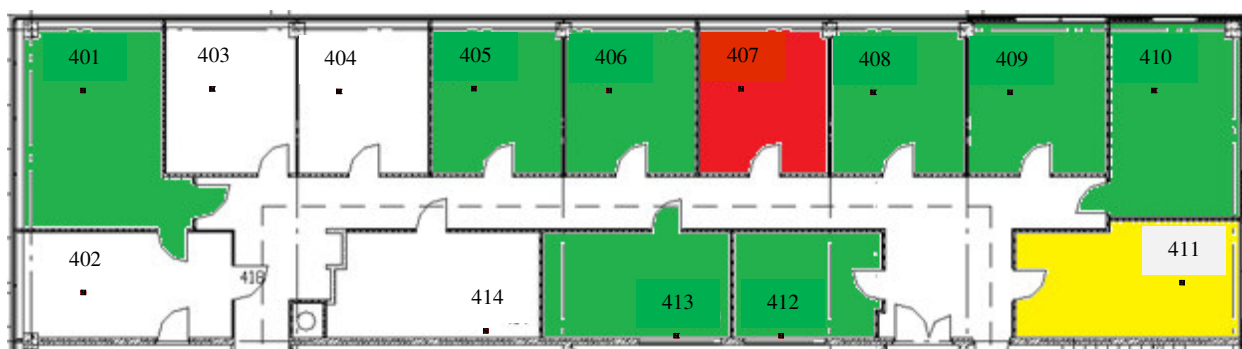


roheline – pimestamist ei esine, punane – esineb pimestavat päikesevalgust, valge – ei võetud osa või ilma seisukohata.

Joonis 3.4. Vastuste jaotus pimestava päikesevalguse esinemise kohta töökohtadel

Töötajad mainisid, et pimestava päikesevalguse vältimiseks on ruumidesse paigaldatud ribikardinad. Samas ei võimalda hetkel kasutatav ribikardinate mudel päevavalgust optimaalselt kasutada, mistõttu on ruumid pärastlõunati pimestava päikesevalguse tõttu tihti pimendatud. Osa töötajatest tunneb end sellises keskkonnas ebamugavalt. Muuhulgas mainiti, et ribikardinate reguleerimiskepp on lühike ja selle kättesaamiseks peab vahel ronima lauale, millega kaasnevad täiendavad ohutegurid.

Valgustuse põhjustatud peegeldusräiguse üle kurtis 15% töötajatest (joonis 3.5). Arvestades TTÜ korraldatud tervise riskide hindamise tulemusi võib oletada, et probleem esineb tegelikult rohkematel kohtadel, kuid töötajad ei pea seda häirivaks.



roheline – valgustid kuvaris ei peegeldu, punane – valgustid kuvaris peegelduvad, kollane – lahkavamus vastanute vahel, valge – ei võetud osa või ilma seisukohata.

Joonis 3.5. Vastuste jaotus küsimusele valgustite peegeldusräiguse kohta töökohtadel

Häirivaid varje töötaja töösoonis selja taga paiknevate valgustite tõttu esineb 23% vastanute töökohtadel, 8% ei osanud selles küsimuses seisukoha võtta. Ühe töötaja arvates on tema töökoha valgustus värelev. Lauavalgusteid kasutatakse ruumides 409 ja 411. Seejuures märgiti

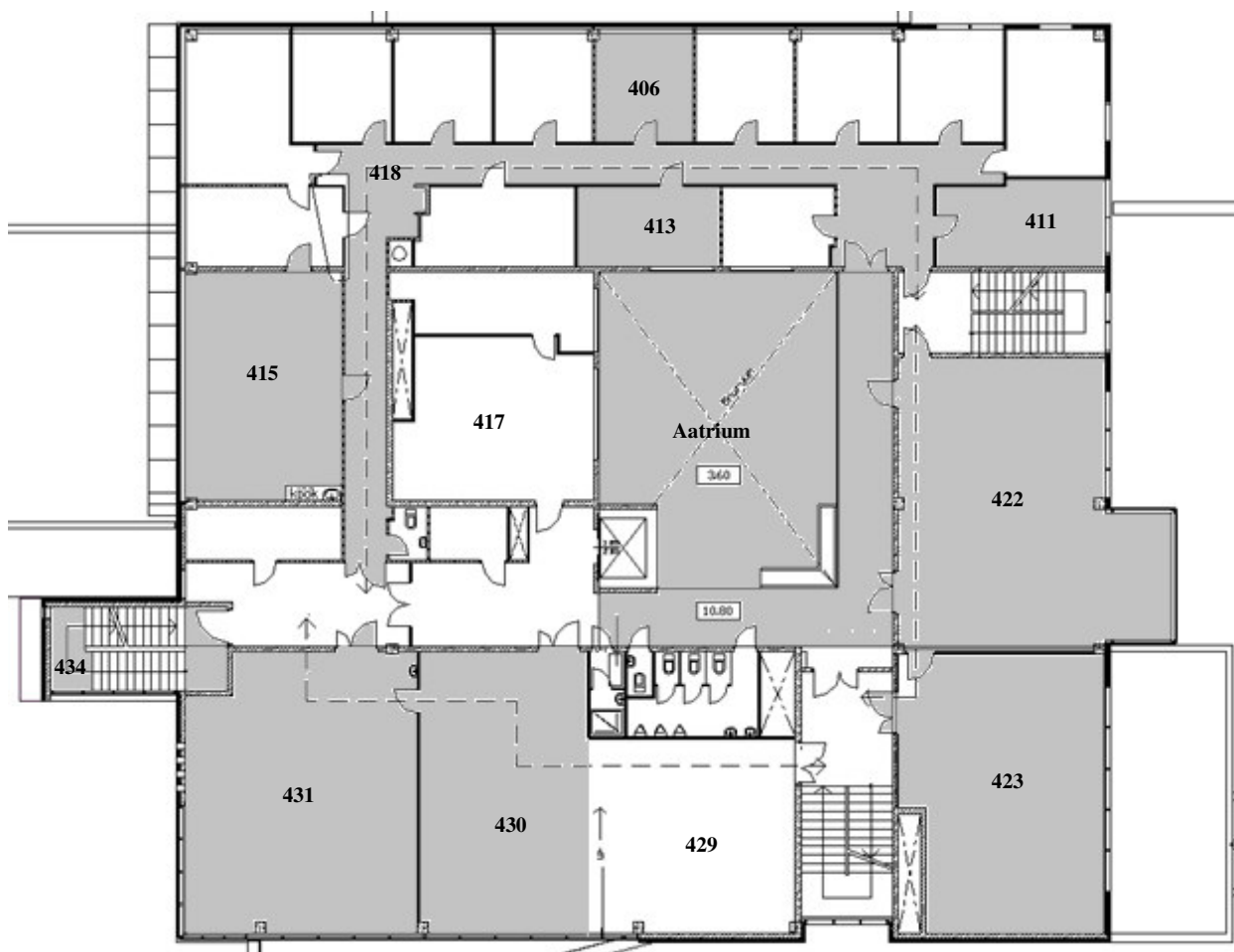
ära, et „töökohtade ja valgustite omavaheline paigutus ei ole kooskõlas: valgustid paiknevad selja taga”, mistõttu on töötaja sunnitud kasutama täiendavalt lauavalgustit. Soovi lauavalgusti saada avaldati ruumis 408.

Õpperuumide valgustuse hindamisel märgiti ära, et mõnes ruumis on valgusti projektorile liiga lähedal – risti projektoriekraaniga ja vaatamissuunaga, mistõttu ei näe otse projektorile langeva valgusvoo tõttu projektoriekraanil kuvatavat pilti ning kogu valgustite rida tuleb välja lülitada.

Küsitlusest selgus, et vastanud töötajad töötavad keskmiselt 7,2–8,2 töötundi tööpäevas.

3.2.2. Uurimisruumide valik ja nende valgustehniline iseloomustus

Arvestades küsitlustulemusi, aga ka õpperuumide kasutamise sagedust ja nende paiknemist, valiti edaspidiseks analüüsiks järgnevad ruumid (joonis 3.6):



Joonis 3.6. Uurimisobjektiks valitud ruumide ülevaade

Ruumi 406 valgustuslahendus on iseloomulik enamiku instituudi töötajate töökohtadele. Töötajate küsitlustulemustest enim rahulolematust valgustuskeskkonnaga märgiti ära ruumides 411 ja 413, mistõttu neid ruume vaadeldakse edaspidi eraldi. Õpperuumidest vaadeldakse

analüüsis enamikku ruumidest. Välja jäetud on ruum 417, milles on ainukesena juba kasutusel juhitavad valgustuspaigaldised, ja laboratoorium 429, mida kasutati õppetöös 2013. aastal vaid 84,5 tunni vältel ja milles sisuliselt puudub päevavalguse osakaal. Ruumi vähese kasutamise tõttu ja vanema tehnoloogia valgustuse uurimiseks võiks käesoleva ruumi valgustuslahenduse jätta samaks.

Lisaks vaadeldakse koridori valgustuslahendust, milles erinevalt teistest ruumidest on kasutusel kompaktluminofoorlambid (tabel 3.1) ning ühe trepikoja ja aatriumi valgustuslahendust.

Tabel 3.1. Valitud ruumide valgusallikate iseloomustus

Ruum/ Valgusti andmed	406,411, 413, 415, 423, 431	422	430	418	434	Aatrium	
Võimsus, W	2 x 58	2 x 36	2 x 58	2 x 18	2 x 58	1 x 36	1 x 36
Lambi tüüp	T8	T8	T8	TC-D	T8	T8	T8
Valgusvoog, lm	5200	3350	5200	1200	5200	3350	3350
Ra	80–89	80–89	80–89	80–89	80–89	80–89	80–89
Tcp	3500	3500	3500	3000	3500	3500	3500

Tabelis 3.1 toodud ruumidest on induktiivballastidega valgustuspaigaldised kasutusel ruumides 430, 418, 434 ja aatriumis. Muudes ruumides on valgustuspaigaldistes kasutusel Helvar mittereguleeritavad elektroonilised liiteseadised.

Kõikides ruumides, välja arvatud 418 ja 434, on räguskaitseks alumiiniumreflektorvõre. Trepikoja valgustitel on kasutatud opaalhajutit.

3.2.3. Normid ja üldised soovitused õpperuumide valgustuse planeerimiseks

Töö- ja õpperuumide nägemisvõime ja -mugavuse seisukohalt oluliste valgustuse parameetrite arvvaartusi sätestab juba eespool mainitud valgustusstandard EVS-EN 12464-1 „Valgus ja valgustus. Töökohavalgustus” 1. osa „Sisetöökohad”. Selles toodud kvaliteetse valgustuse kriteeriume käsitleti töö esimeses osas.

Õppimine esitab kõrgeid nõudmisi ja sellega on kergem toime tulla, kui hea valgus toetab õppimise nägemisülesandeid, nagu „visuaalse info vastuvõtmine” ja „kirjutamine”. Nii suureneb keskendumis- ja kasvab informatsiooni vastuvõtmisvõime, aga ka õppeedukus. Ärksad õpilased on motiveeritumad ja jälgivad tundi tähelepanelikumalt [44].

Valgustusliigi valikul tuleb valgustust planeerida nõnda, et see toetaks õppeprotsessi ega laseks vastupidiselt õppeprotsessil end valgustuse järgi kohandada. Samas peaks see toimuma majanduslikult talutavates raamides.

Lisaks ruumide üldvalgustusele, millel peatutakse põhjalikult järgneva analüüsi käigus, tuleks pidada silmas vertikaalsete esitluspindade head valgustust. Nii nõutakse näiteks tahvlipiirkonnas eraldi lülitatavaid ja reguleeritavaid valgusteid asümmeetrilise valgusjaotusega, et tagada vertikaalsele pinnale piisav ja ühtlane valgustus. Sama kehtib ka külgliseinal paikneva tahvli või muu olulise infolehe puhul.

Tahvli läheduses olevad üldvalgustid on soovitatav lülitada sisse ja reguleerida muudest valgustitest eraldi, et tagada projektoriekraanile projitseeritava pildi parem kvaliteet, jättes samas piisavalt valgust õpilastele kirjutamistööks.

Tähelepanu tuleks vajaduse korral pöörata ka kappide ja riiulite piisavale valgustamisele, eriti oluline on see raamatukogude ja arhiivide puhul.

Üldjuhul on õpperuumides, eriti väiksemates ruumides, kasutusel ruumipõhine valgustuse planeerimine, mis eeldab, et laudade ja toolide kõige erinevama paigutuse korral loob valgustus kõikjal ühtmoodi häid valgustingimusi. See eeldab, et kogu ruum, sh seinad on ühtlaselt valgustatud ja vaatamissuuna muutmisel ei teki tugevaid valgustiheduse erinevusi, mis väsitavad silmi ja põhjustavad keskendumisvõimetust.

Suunatud istumiskorralduse puhul ei tohiks valgustid pimestamise ja peegelduste vältimiseks asuda töökohtade kohal, vaid nende kõrval, ning peaksid kulgema vaatamissuunaga paralleelselt. Valgustid, mis jäävad siiski vaatesuunaga risti, peavad olema otsese pimestamise vältimiseks piisavalt kaetud [44].

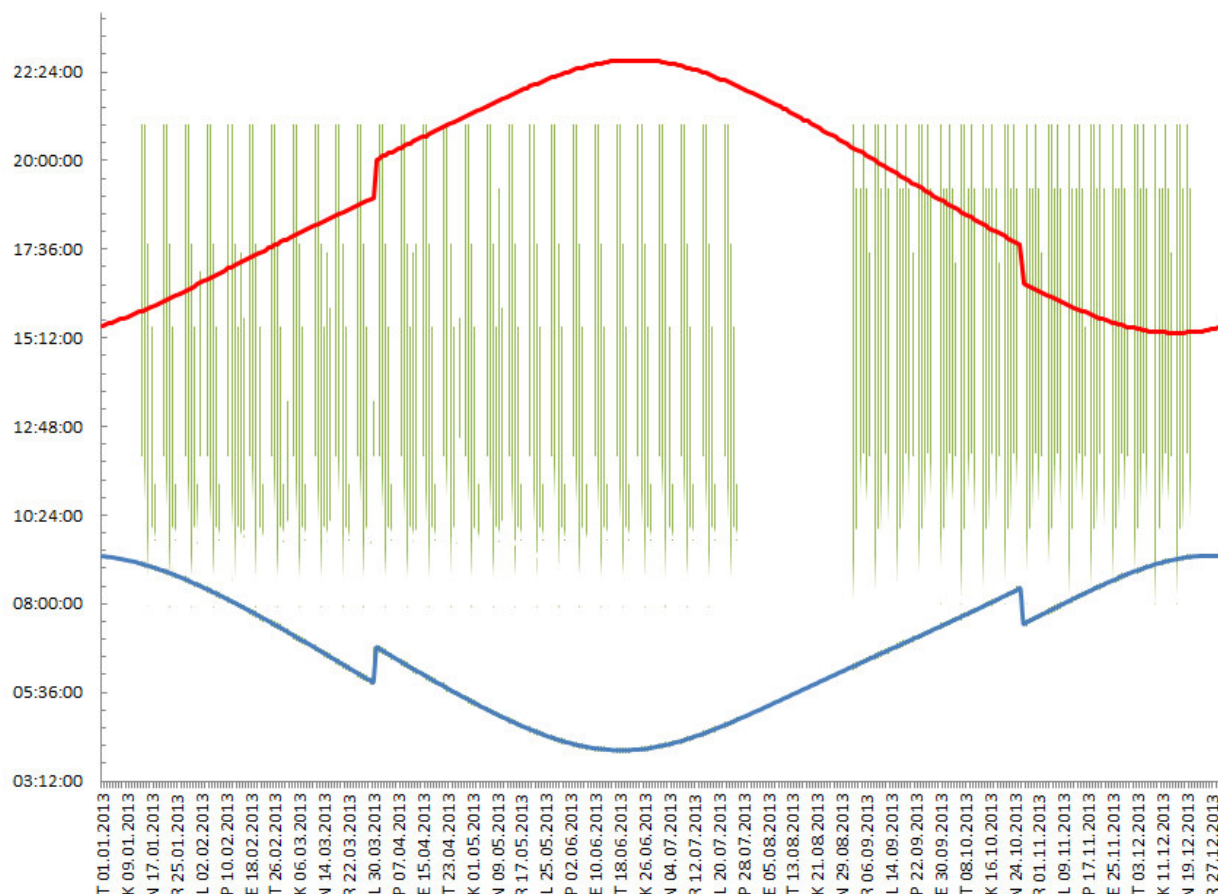
Täiendava võimaluse valguse sobitamiseks vahelduvate õppe- ja tunniolukordadega võimaldab valgusjuhtimine, mille abil saab valgustust paindlikult parasjagu käimasoleva tunni või esitluse vajadusele ja vajalikule nägemisülesandele kohandada.

Sellist valgustust võib seadistada kas käsitsi või sobivate anduritega vastavalt päikese asukohale, aastaajale, ilmastikuoludele, ruumis viibimisele või erinevate esitlusvahendite pimendamisnõuetele.

Seejuures peaks valgusmuudatus toimuma järjepidevalt 3–10 sekundi jooksul hüpeteta. Kui pimendamise ajal on valgust lühiajaliselt vaja, ei tohiks ka see silma tundlikkuse kohanemisega arvestades kohe täiel määral põlema süttida.

Positiivset mõju õppetulemustele on tõestanud ka dünaamilise valgustuse rakendamine muudetava valgustugevusega ja valgusvärvi või tegevusele kohandatud valguse kaudu oludes, kus päevavalguse osakaal on väike. Dünaamiline valgustuse juhtimine aitab säästa energiat.

Eelistada tuleks siiski loomulikku päevavalgust nii palju, kui seda on. Tehisvalgus, mis peaks olema võimalikult reguleeritav, täiendab vajaduse korral päevavalgust. Segavat ja keskendumist häirivat pimestamist tuleks vältida valgustite õige reastamisega, sobiva valgustioptika ja päikesepimestamiskaitsetega. Viimastega saab vastavalt päikese asukohale taevast reguleerida päevavalguse sissepääsu ruumidesse. Päevavalguse optimaalne kasutamine ja selle mõju energiatõhususele sõltub õppekorralduse optimaalsest organiseerimisest (joonis 3.7).



sinine joon – päikese tõus, punane joon – päikese loojang, roheline joon – õppetundide kestus vaadeldaval korrusel

Joonis 3.7. TTÜ elektrotehnika instituudi 4. korruse õpperuumide kasutamine 2013. aastal

Nii aitaks õppetundide varasem algus sügissemestril päevavalgust paremini kasutada, mille tulemusena saaks kooliruumides tagada vaheldusrikkama ja energiatarbimiselt säästlikuma siseruumide valgustuse.

Valgustite reastus ja lülitus tuleb seejuures valida nii, et kunstlik valgustus täiendaks loomulikku otstarbekalt. Nii peaks akendest kaugel asuvate tsoonide valgustus olema ülejäänud ruumi omast eraldi lülitatav ja reguleeritav. See toimub nt ridade kaupa, päevavalgusest sõltuva automaatse reguleerimise või lülituse kaudu aknaga paralleelselt paigaldatud valgustite ridades.

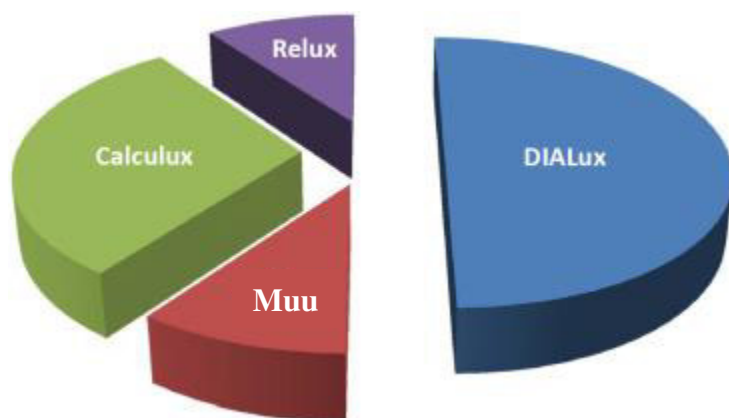
Valgustuse juhtimine võimaldab püsivalt paigaldatud esitlusvahendite jaoks, nagu ka erineva õppeiseloому vajaduse tarbeks lihtsa nupuvajutusega esile kutsuda eelnevalt seadistatud valgustustingimusi või stsenaariumi. Samas peab jääma ka võimalus käsitsi seadistamiseks.

Valgusjuhtimine ja liikumisandurite kasutamine koridorides, tualettides ja trepikodades aitavad suurendada valgustuspaigaldise energiatõhusust. Ohutuse tagamiseks peab olema tagatud ka normikohane hädavalgustus [44].

Kavandatava valgustussüsteemi käitumise iseloому saame kõige paremini hinnata valgustuse simulatsiooniprogrammi kaudu.

3.2.4. Kasutatav valgustusprogramm

Käesolevas uurimistöös on kasutatud DIALux valgustusprogrammi, mis on valgustussüsteemi projekteerijate seas laiemalt levinud võrreldes analoogsete arvutusprogrammidega. Nii kasutatakse seda programmi nt Saksamaa turul üle poolte valgustuslahenduste projekteerimisel (joonis 3.8).



Joonis 3.8. Valgustuse projekteerimisel kasutatavate valgustusprogrammide jaotuse osakaal Saksamaal [49]

Vastav programm on kättesaadav vabavarana internetiaadressil www.dialux.com, mille on välja töötanud Saksa Valgustusinstituut.

Vastava programmi eeliseks on selle vaba kättesaadavus, olemasolevate valgustite andmebaasi mitmekülgsus ja programmi kasutamise positiivne tagasiside valgustusprojekteerijatelt. Programmi loojad on pidevas kontaktis kasutajatega ja püüavad programmi järjepidevalt uuendada. Ka käesoleva töö käigus on loodud kontakt firma esindajatega eestikeelse versiooni parendamiseks.

DIALux valgustusarvutusprogramm arvestab nii valgustus- (EVS EN 12464-1) kui ka valgustite energiatõhususe standardis (EVS-EN 15193) esitatud nõudeid ning väljastab valgustus- ja energiatõhususarvutusi vastavalt neis kehtestatud reeglitele.

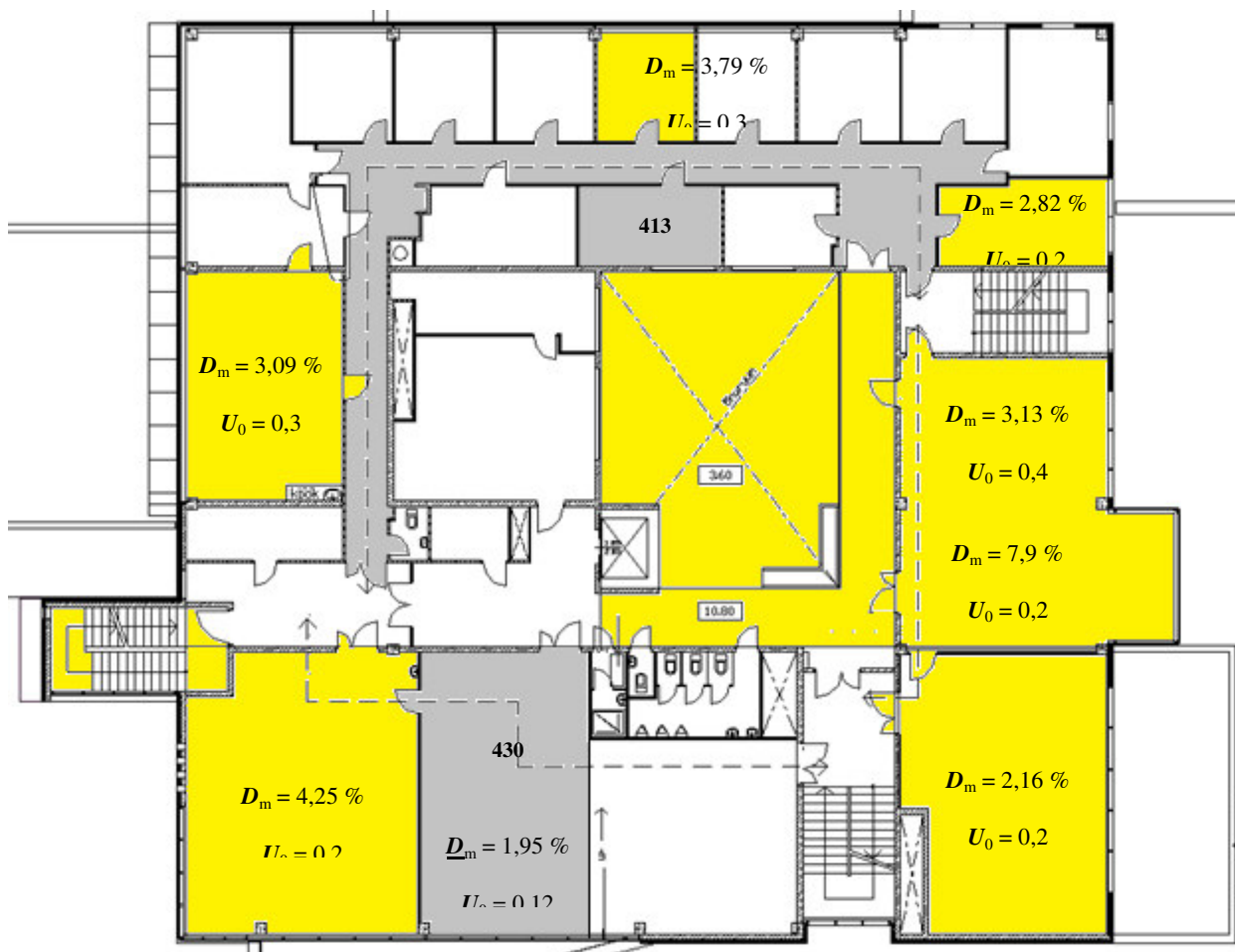
DIALux arvutusprogramm arvestab ka päevavalguse kasutamise võimalust ruumide valgustamisel ja annab hinnangu selle piisavusele töökohtadega ruumides, arvestades sh akende läbipaistvust ja pindade peegeldustegurit.

4. Energiaefektiivse valgustuse planeerimine

4.1. Päevavalguse piisavuse hindamine tööruumides

Nagu juba eelnevalt mainitud on ideaalne valgustada tööruume päevavalgusega, mis valgustuse ergutava mõju kaudu aktiveerib töötajaid ja õppijaid ning tagab valgustuse energiasäästlikuma kasutamise. Päevavalgusest sõltuv valgustuse juhtimine on majanduslikult mõistlik korraldada ruumides, mille päevavalgustegur ületab 2% määra. Tähtis on seejuures ka ruumi ühtlane valgusjaotus, mille soovitatavaks arvvärtuseks peetakse 0,3. Nimetatud teemat käsitleti põhjalikumalt töö 1. osas.

DIALux arvutusprogrammi kasutamisel määrame ruumid, kus oleks otstarbekas päevavalgusest sõltuv valgustusjuhtimine ruumide energiaefektiivseks valgustamiseks (joonis 4.1 – ruumid märgitud kollasega)



Joonis 4.1. Uurimistöök valitud ruumide valgustamise piisavus päevavalgusega

Tehtud arvutused näitasid, et enamik õpperuumidest on päevavalgusega piisavalt valgustatud, mistõttu on neis mõistlik päevavalgusjuhtimisega valgustussüsteemide projekteerimine. Ruumis 430 on soovitatav dünaamilise valgustuse kasutamine (ruumi päevavalguse osakaal on alla 2% ja selle ühtlus on tunduvalt alla 0,3, õppetöö toimub seljaga akende poole). Ruumis 430 on 2013. aastal toimunud 48% õppetegevusest, mistõttu oleks taoline investeering igati õigustatud.

Teiste, joonisel halliga märgitud ruumide päevavalgusega valgustamine on ebapiisav, mistõttu on energiatarbimise säästmiseks neis ruumides soovitatav kasutada liikumis- ja kohalolekuandureid. Ruumis 413 võib lisaks kaaluda valgustuse käsitsi reguleerimise võimalust, kuna osa valgust pääseb ruumi küljel asuvast aknast, mis avaneb aatriumisse.

4.2. Energiatõhususe potentsiaal ja selle lihtsaim tasuvusarvutus

4.2.1. Õpperuumide energiaefektiivne valgustus

Enamikes õpperuumides toimub õppetöö suunatud istumiskorraldusega, kus õppijatele jagatakse informatsiooni, kas multimeedia vahendusel või siis seletatakse õpetatava materjali sisu tahvil. Seetõttu on soovitatav võimalikul valgustuspaigaldise rekonstrueerimisel paigutada valgusteid paralleelselt vaatamissuunaga. Ka on soovitatav jaotada valgustid gruppidesse, eriti tahvli lähedal.

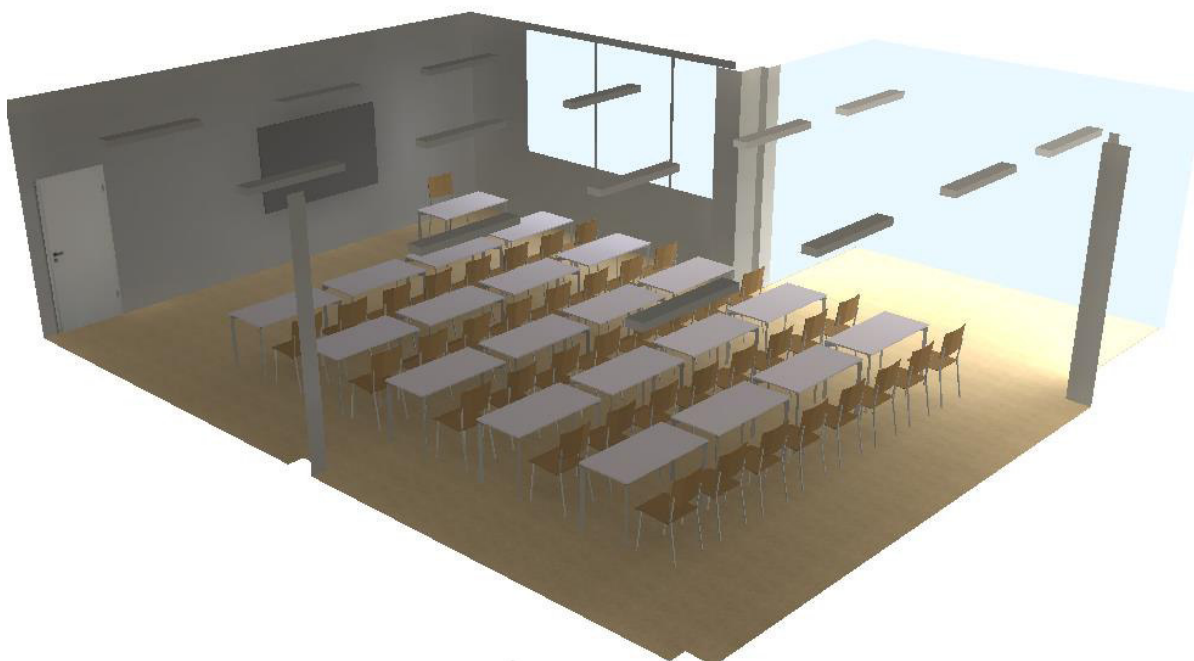
Hetkel on paljudes ruumides valgustuspaigaldised risti vaatamissuunaga, mis mõnes ruumis moonutab multimeedia pildi kvaliteeti. Valgustid on lülitatavad ridade kaupa, kuid puudub võimalus vähendada valgustugevust projektori ekraani tsoonis nii, et üleliigne valgustus oleks hämardatud ainult seal, kus seda tegelikult vaja on.

Ruumi 415 kasutatakse õppejõudude ühisruumina, kus toimuvad väiksemad üritused nagu ka erinevate töögruppide koosolekud. Ruumi pikliku kuju tõttu on lauad ruumis paigutatud paralleelselt aknaga ja töö toimub kas näoga või seljaga akna poole. Akende alumine serv on 112 cm kõrgusel põrandast. Nagu õpperuumides, on ka ruumis 415 kasutusel suured aknad, mis DIALuxi arvutusprogrammi järgi katavad päevavalgusega suure osa ruumist.

Samas on kõikides ruumides päikesekaitsena kasutusel lihtsaimad ribikardinad, mis suunavad päevavalgust ruumi sisse vaid vähesel määral. See aga sunnib rohkem kasutama tehisvalgustust. Elektrotehnika instituudi töötajad on nii küsitluste kui ka vestluste käigus pööranud tähelepanu nimetatud probleemi aktuaalsusele. Sellest tulenevalt on ruumide valgustuse energiaefektiivsuse parendamiseks soovitatav esmase tegevusena vahetada välja kasutatavad päikesekaitse süsteemid optimaalsemate vastu.

Vaatleme konkreetsete ruumide näitel aga võimalikku energiasäästu potentsiaali valgustuspaigaldiste renoveerimise või täienduste kaudu.

Nii on ruumis 422 kehtiva valgustuslahendusena kasutatud T8 luminofoorlampidega 2 x 36 W elektrooniliste mittejuhitavate liiteseadistega reflektoriga valgusteid. Ruumi valgustamiseks kasutatakse 14 valgustit, mis on paigutatud risti vaatamissuunaga (joonis 4.2). Valgusti enda võimsuseks koos liiteseadisega on 70 W.



Joonis 4.2. Ruumi 422 joonis DIALux programmis

Õpperuumi üldvalgustuse energiatarbimine, arvestades õpperuumidele omast kohalolekutegurit, on DIALux arvutusprogrammi kohaselt 1671,46 kWh/a ja selle **LENI** väärtus 18,96 kWh/(a×m²).

Vastavalt standardile EVS-EN 15193-2007 „Hoonete energiatõhusus. Energianõuded valgustusele” on **LENI** maksimaalsed lubatavad piirväärtused koolis järgmised: 34,9 (anduriteta), 27,0 (ainult kohalolekuanduriga), 31,9 (ainult päevavalgusanduriga), 24,8 (päevavalgus- ja kohalolekuanduriga). Väljatöötamisel on standardi järgmine versioon, kus nõudeid valgustuse energiatõhususele karmistatakse [74].

Arvutusprogrammis kasutatakse olemasoleva lahenduse hindamisel valgusarvutusfaile, mis iseloomustavad valgustite tehnilisi parameetreid perioodil 2002–2004, kui TTÜ Energeetikamaja alles ehitati.

Päevavalgusteguri arvutamine näitas, et ruumis 422 on otstarbekas päevavalgusest sõltuv juhtimine (tahvlipoolse tsooni $D_m = 3,13$ ja $U_0 = 0,4$ ning ruumi tagumise tsooni $D_m = 7,9$ ja $U_0 = 0,2$).

Nii on samade valgustite edasisel kasutamisel päevavalguse juhtimisega ja välja vahetatud liiteseadistega elektripaigaldise energiakulu juba 1567,03 kWh/a ja *LENI*-väärtus 17,78 kWh/(a×m²). Energiasääst moodustab sellisel juhul u 6%, mis iseenesest pole sugugi palju. Selle põhjuseks võivad olla käsitletava ruumi suur sügavus nagu ka eelnevalt mainitud A₁ juhitavate energiaklassi liiteseadiste võimsuste võrdsustamine 100%-liselt valgustasemel A₃ liiteseadise energiakuluga, millest tulenevalt jääb liiteseadise tarbitav võimsus juhitavate vastu vahetamisel samaks. Küll aga väheneb piisava päevavalguse korral liiteseadiste tarbitav energiakulu valgustuse hämardamise tulemusel. Energia tarbimist saab mõnevõrra parendada A₁BAT-energiaklassi liiteseadiste kasutamisel, kuna see energiaklass on parem – teemat on käsitletud täpsemalt p. 2.2.2.1. Teiste õpperuumide säästupotentsiaal liiteseadiste vahetamisel juhitavate vastu ja päevavalgusest sõltuv juhtimine on toodud tabelis 4.1.

Tabel 4.1. Energiakulu säästupotentsiaal päevavalgusest sõltuval juhtimisel

Ruumi number / Energiakulu	415	422	423	431
Valgustite arv	6	14	8	9
Lampide võimsus [W]	2 x 58	2 x 36	2 x 58	2 x 58
Energiakulu aastas [kWh/a], mittejuhitav lahendus	1039,7	1671,46	1316,2	1400,82
<i>LENI</i> [kWh/(a×m ²)]	22,66	18,96	19,05	17,33
Energiakulu aastas [kWh/a], juhitav lahendus	902,08	1567,03	1013,92	1078,69
<i>LENI</i> [kWh/(a×m ²)]	19,66	17,78	14,76	13,34
Energiasääst, %	13	6	23	23

Teistes, tabelis 4.1., toodud ruumides kasutatakse sama tüüpi valgusteid, kuid võimsamate luminofoorlampidega 2 x 58 W, mille energiatarbimine mittejuhitava elektroonilise liiteseadisega on TTÜs korraldatud mõõtmiste kohaselt 106 W.

Päevavalgusest sõltuval juhtimisel nii büroo- kui ka õpperuumides võib iga valgustirida hämardamistaset juhtida eraldi anduritega või kasutada andurit, mis juhib korraga kaht valgustirida. Viimase variandi korral toimub aknast eemal asuva valgustusrea hämardamine kindlas sõltuvuses akna ees asuvate valgustite hämardamistasemest. Eraldi andurite kasutamisel tuleb pöörata tähelepanu sellele, et andurid suhtleksid omavahel ega mõjutaks üksteist kaootiliselt. Valgustite sisselülitust on mõistlik lahendada käsitsi juhtimisena. Üldkasutatavates ruumides valgustuse anduritega juhtimisel võib töövälisel ajal programm- või astronoomilist

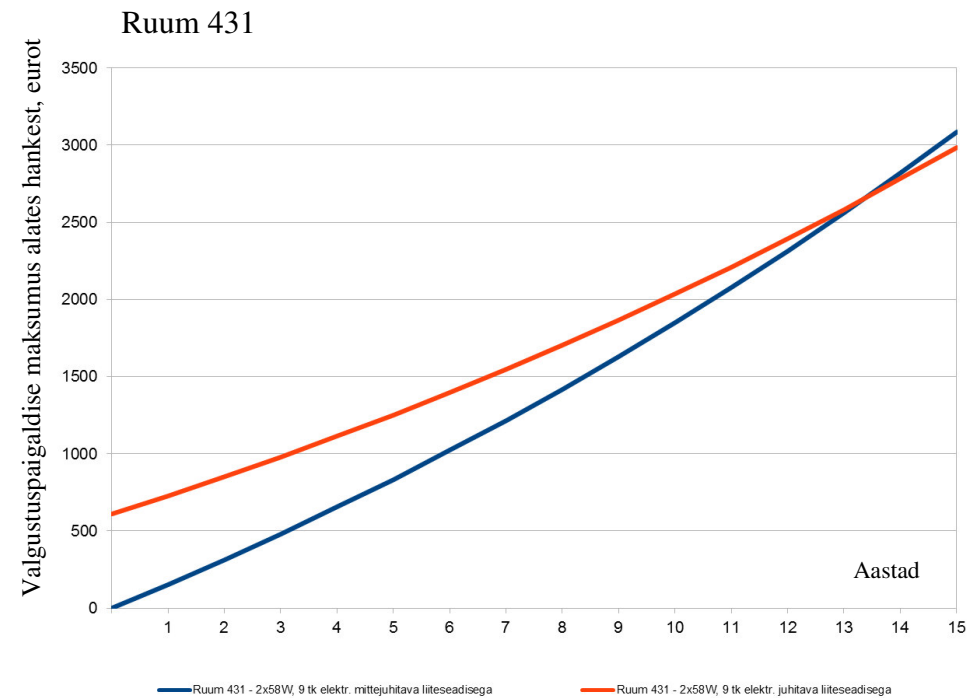
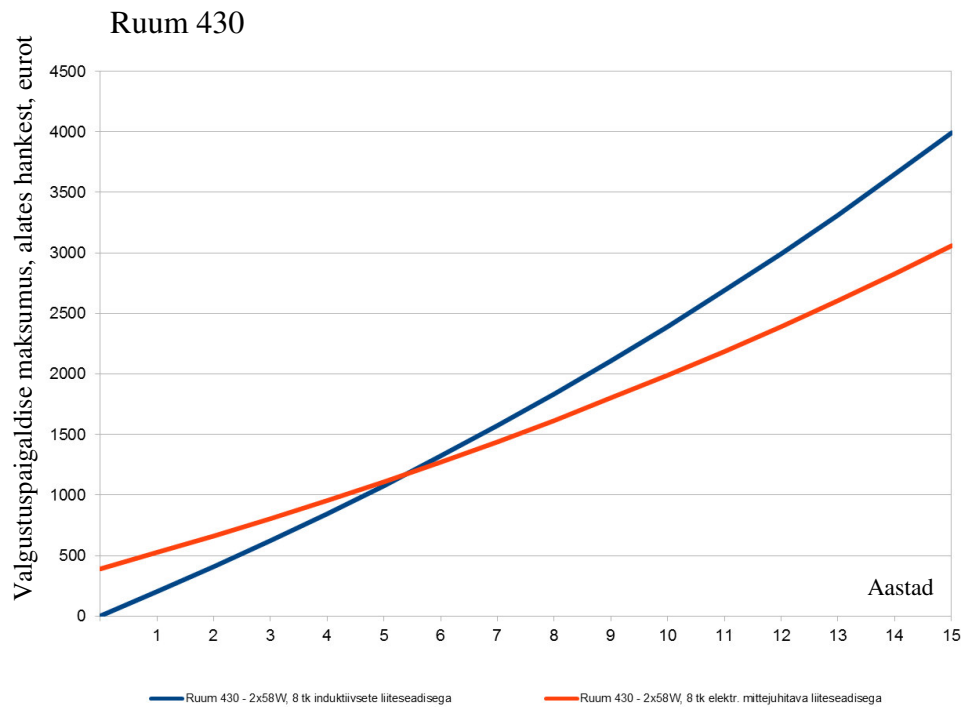
kella kasutades lülitada valgustusliini välja, mille abil välditaks anduri tühijooksuvõimsusest tulenevat energiakulu.

Ruumis 430 on erinevalt teiste võrreldavate ruumidega valgustites kasutusel induktiivsed liiteseadised, valgusti koguvõimsus on tootja andmetel 146 W. Ruumi üldvalgustuse energiakulu on DIALux arvutuste järgi 1811,89 kWh/a ja *LENI*-väärtuseks on 30,11 kWh/(a×m²). Nende asendamine elektronliiteseadistega käsitsi hämardamisega vähendab energiakulu kuni 1210,97 kWh/a ja *LENI*-väärtuse 20,13 kWh/(a×m²)-ni, mis tagab 33%-lise energiasäästu võimaluse.

Lihtsaim tasuvusarvutus näitab, et päevavalgusest sõltuv juhtimine ja induktiivse liiteseadise asendamine elektroonilise liiteseadise vastu, nagu nt ruumis 430, tasub end sõltuvalt ruumist 5–14 aastaga ära (joonis 4.3). Tasuvusarvutustes on arvesse võetud valgustuspaigaldise elektrikulu, elektrooniliste liiteseadiste maksumust ning juhitud valgustite korral andurite ja kontrollerite maksumust. Võrdluseks kasutatava olemasoleva valgustuspaigaldise hankekuludeks loetakse 0 eurot. Töökulu on arvesse võtmata, kuna see investeering tuleb energiatõhususe parendamisel teha niikuinii.

DALI juhitud liiteseadiseid on võimalik hankida suurema partii ostul u 40 euro eest. Andurite hinnad koos kontrolleriga varieeruvad 70–100 euro piires.

Valgustuspaigaldise elektrikulu hinnaks on võetud 0,11 eurot/kWh kohta, arvestades elektrienergia 4%-lise kallinemisega aastas.



sinine – hetkel kehtiv lahendus, punane – alternatiivlahendus

Joonis 4.3. Näide valgustikomponentide vahetamise majanduslikust tasuvusest

Tegemist on lihttasuvusarvutusega, mille eesmärk on eritehnoloogia lihtsaim tasuvusvõrdlus. See ei arvesta täiendavaid kulusid, nagu näiteks pangalaenu intressid, töökulud jne. Tänapäeval on võimalik energiaefektiivse lahenduse elluviimiseks saada ka täiendavaid ressursse Euroopa Liidu tõukefondidest, millega omaosaluse kulud vähenevad oluliselt. Töökulude kokkuhoidu on võimalik saavutada ka praktikantide rakendamise ja lihtsamate elektritööde tegemisel.

Valgustuspaigaldise suuremat säästupotentsiaali on võimalik saavutada valgusviljakamate ja energiatõhusamate T5-luminofoorvalgustitega, mis tarbivad vähem energiat.

Näiteks teeks ruumis 422 uue valgustuslahenduse ja võrdleks erinevate tootjate pakutavaid tooteid. Valgustid paigutaks ruumis paralleelselt akendega ja arvutustes arvestaks tegelike töökohtade paigutust. Lampide värviesitus jääb klassis olevates valgustites samaks, lampide värvsüsteemtemperatuuriks valime 4000 K. Omavahel võrdleks 4 tootja 11 valgustit (tabel 4.2).

Sooritades DIALuxis kõigi 11 valitud valgustiga valgustehnilised arvutused ruumi kohta, võrdleme nende tulemusi valgustuse standardis sätestatud nõuetega. Täiskasvanute koolitusruumide ja loengusaalide valgustustiheduse hooldeväärtuseks on 500 lx, **UGR** maksimaalseks lubatavaks väärtuseks 19 ja ühtlusteguriks $U_0 = 0,6$ [26]. Nii võime osade valgustite analüüsist edaspidi loobuda lubatust suurema räguse tõttu: OMS Lambda ja Zumtobel Elea, (tabel 4.2) (märgitud tabelis halli värviga, normi ületavad väärtused kollasega).

Muude valgustite korral on nende diskomforträägustegur, valgustustiheduse hooldeväärtus ning ühtlustegur normikohased.

Arvutuste käigus võrdleme ka valgustuspaigaldiste energiatarbimist koos ja ilma päevavalgusjuhtimiseta (tabel 4.3).

Tabel 4.2. Valguslahenduste arväärtused T5-luminofoorvalgustite kasutamisel

Tootja	OMS			Trilux			Zumtobel				Osram
Valgusti nimetus	Lambda	Lambda MAX	EXE II	LUCEO	TR 5051 RSX	TR 5051 RMV	MIRAL 2	VAERO	ECOOS	ELEEA	SILUETTE
LOR väärtus %	67	79	75	95	88	78	75	88	90	89	87
Valgustite arv	13	13	13	13	13	10	13	10	13	10	13
Lambi tüüp	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5
Lambi võimsus [W]	2 x 28	2 x 28	2 x 28	2 x 28	2 x 28	2 x 35	2 x 28	2 x 35	1 x 49	2 x 35	1 x 49
Valgusvoog [lm]	5200	5200	5200	5200	5200	6600	5200	6600	4300	6600	4300
DIALux arvutatud valgustehnilised arväärtused											
E_m [lx]	576	672	631	610	626	535	573	548	538	655	530
U_o	0,653	0,74	0,74	0,76	0,77	0,64	0,75	0,65	0,76	0,61	0,74
max UGR	22	19	19	15	18	18	19	11	15	20	15

Tabel 4.3. Energiatõhususe arväärtused T5-luminofoorvalgustite kasutamisel

Tootja	OMS		Trilux			Zumtobel			Osram
Valgusti nimetus	Lambda MAX	EXE II	LUCEO	TR 5051 RSX	TR 5051 RMV	MIRAL 2	VAERO	ECOOS	SILUETTE
LOR väärtus %	79	75	95	88	78	75	88	90	87
Valgustite arv	13	13	13	13	10	13	10	13	13
Lambi võimsus [W]	2 x 28	2 x 28	2 x 28	2 x 28	2 x 35	2 x 28	2 x 35	1 x 49	1 x 49
Energiakulu aastas [kWh/a], mittejuhitav lahendus	1321,08	1321,08	1453,55	1341,44	1446,79	1387,32	1292,99	1232,77	1254,85
LENI [kWh/(a×m ²)]	14,99	14,99	16,49	15,22	16,41	15,74	14,67	13,98	14,24
Energiakulu aastas [kWh/a], juhitav lahendus	1200,95	1200,95	1321	1179,89	1314,23	1260,97	1136,61	1120,93	1140,93
LENI [kWh/(a×m ²)]	13,62	13,62	14,99	13,39	14,91	14,3	12,89	12,72	12,94
Kataloogihind [Eur]	49,66	53,86	188	108	112	305,52	788,19	390,05	190

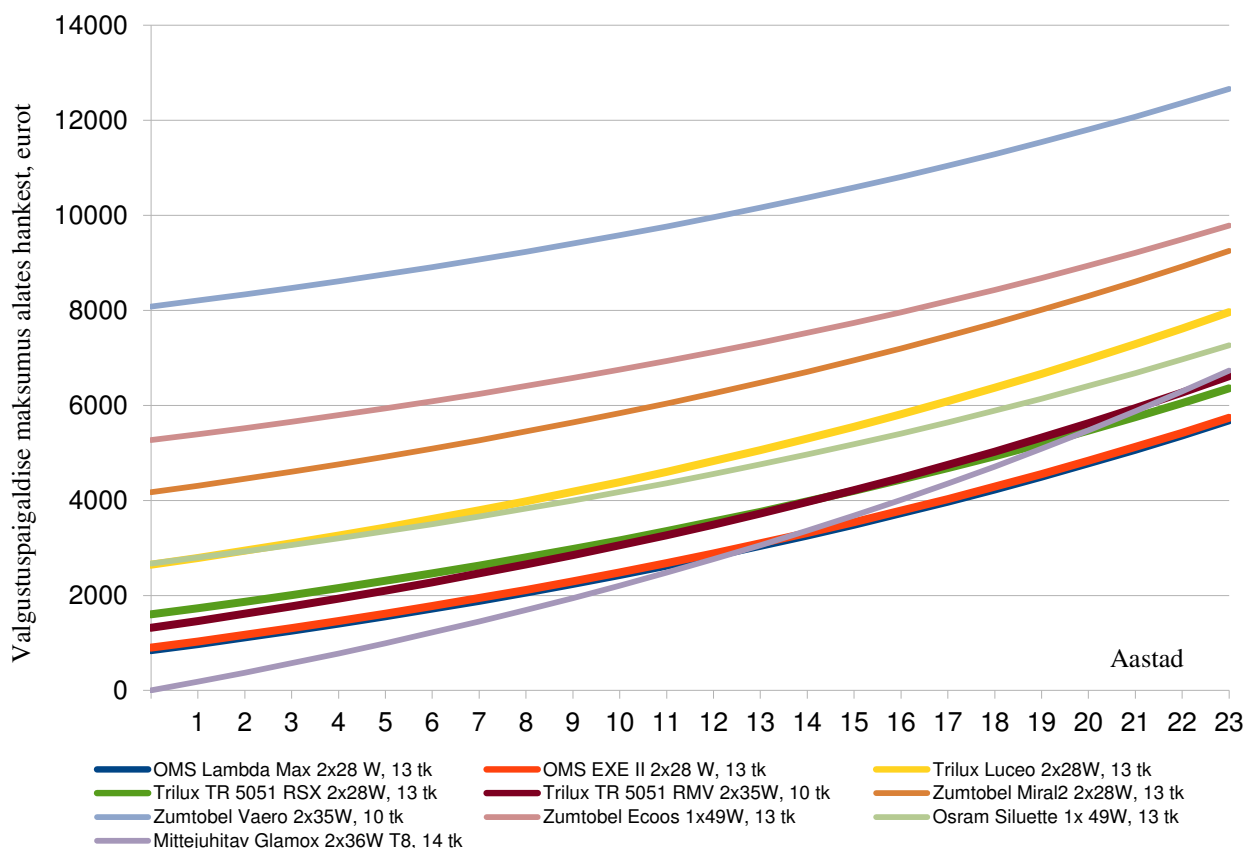
Võrreldes hetkel kasutatavat valgustuspaigaldise energiatarbimist 1671,46 kWh/a kõige energiasäästlikuma arvutatud variandiga, saame energiasäästu potentsiaaliks 33%. Energiatõhususe arvutustest näeme, et uute valgustitega sama ruumi valgustamiseks kuluv energiatarbimine võib erineda sõltuvalt tootest kuni 15%, mistõttu on energiatohus valgustuse projekteerimine niivõrd tähtis.

Päevavalgusest sõltuv juhtimine vähendab valgustuspaigaldise energiakulusid vaadeldud ruumi kohta T5-luminofoorvalgustite korral keskmiselt 10%.

Samas tuleb märkida, et käesoleva ruumi puhul tasuks tehtav investeering omakuludega ära üksnes 13–14 aasta pärast OMS toodete ja 20–22 aasta pärast Trilux toodete puhul (TR 5051 sarja tooted), mille põhjuseks on valgustite ja selle juhtimise lisakomponentide kõrged investeerimishinnad (joonis 4.4). Võttes arvesse täiendavaid kulusid, mis võivad lisanduda, võib eelnimetatud tasuvusaeg veelgi pikeneda.

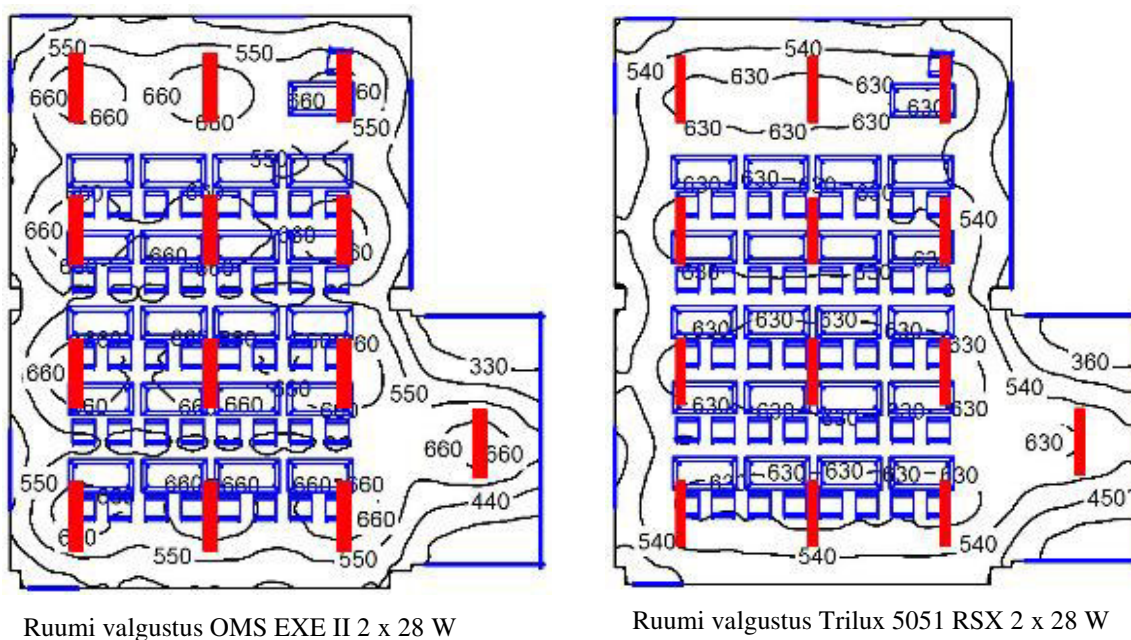
Tasuvusarvutustes on arvesse võetud uute valgustuspaigaldiste maksumuses valgustite maksumus, juhitavate valgustite korral andurite ja kontrollrite maksumus ning valgustuspaigaldise elektrikulu koos hinnatõusuga. Uute valgustite valikul lähtusin saadaolevatest materjalidest ja hindadest. Valgustite hinnad, eriti leedvalgustitel, muutuvad pidevalt ja nende hankimisel on hind ostja ja müüja vaheline kokkulepe, mistõttu arvutustes kasutatud hinnad on segaduste vältimiseks võetud kataloogihinnana.

Pöördumisel valgustite maaletoojate poole saab küsida nende abi valgustite hankimisel õppepolügooni loomise nimel. Sellega väheneksid hankekulud ja tasuvusaeg oluliselt. Kuna käesoleva magistritöö eesmärk on näidata energiaefektiivsuse saavutamise võimalusi, on põhiliselt keskendunud energiasäästu temale.



Joonis 4.4. Ruumis 422 T5-luminofoorvalgustite lihtsaim tasuvusarvutus võrreldes praeguse lahendusega

Võrreldes Triluxi ja OMSi tooteid, võime näha, et Trilux on valgustehniliste omaduste poolest parem (joonis 4.5).



Joonis 4.5. Ruumi valgustamine Trilux ja OMS toodetega

Nii on Triluxi toodete puhul valgustus jaotatud ruumis ühtlasemalt ja ei teki nn valguslaike, nagu seda võib eeldada OMS toodete puhul. Ka on Triluxi toodetel väiksem **UGR** väärtus.

Ruumi 430 näitel analüüsime ka leedvalgustitega saavutatava energiasäästu potentsiaali õpperuumi valgustamisel.

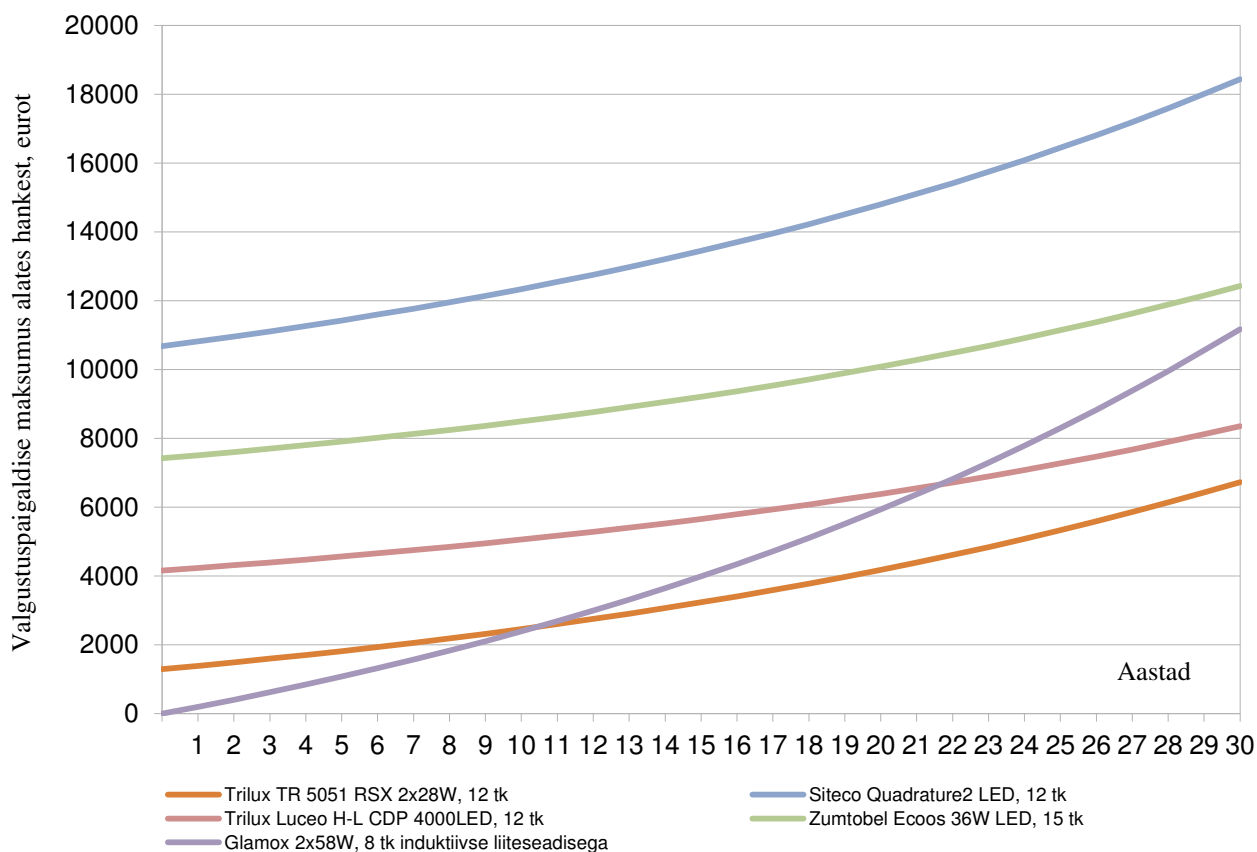
Analoogselt ruumiga 422 valime lisaks T5-luminofoorlambi variandile (kasutame siin selleks Trilux 5051 RSX-L 2 x 28 W) 4 leedvalgustit 3 tootjalt. Ka siin jätame kahe valgustusarvutuse variandid järgneva analüüsi käigus välja, kuna nende valgustustiheduse ühtlustegur jääb alla EVS 12464-1:2011 kehtestatud normväärtuste (tabel 4.4) (märgitud tabelis halli värviga, normi mitterahuldavad väärtused kollasega).

Tabel 4.4. Ruumi 430 valgustuslahenduse ja energiatõhususe arväärtused

Tootja	Trilux	Siteco / Osram			Zumtobel	Trilux
Valgusti nimetus	5051 RSX-L	Quadrature 5MQ218	Quadrature 5MQ118	Quadrature 5MQ118	ECOOS	Luceo
Valgustite arv	12	9	9	12	15	12
Lambitüübi tähis	T5	LED	LED	LED	LED	LED
Valgusvoog	5200	4645	4440	4440	2670	4000
Energiakulu aastas [kWh/a]	880,96	993,19	993,19	1258,44	811,89	697,19
LENI [kWh/(a×m ²)]	14,64	16,51	16,51	20,91	13,94	11,59
Kataloogihind, eurot	108	890	890	890	495	347
E_m	534	660	632	816	528	549
U_o	0,62	0,48	0,47	0,67	0,7	0,7
max UGR	19	17	17	13	15	14

DIALux arvutustulemustest näeme, et leedvalgustite kasutamisel on võimalik energiasäästu potentsiaal kuni 63%, kuna ruumi praeguse lahenduse energiakulu on 1811,89 kWh/a. Sellele järgneb T5-luminofoorvalgustiga tehtud arvutus – 51%.

Lihtsa tasuvusarvutuse käigus hindame lisaks leedvalgustitele ka olemasolevat tehnoloogiat, ning T5-luminofoorvalgusti kasutamise varianti (Joonis 4.6).



Joonis 4.6. Ruumis 430 T5-luminofoorvalgustite ja leedvalgustite lihtsaim tasuvusarvutus võrreldes praeguse lahendusega

Vaatamata leedvalgustite suurele energiapotentsiaalile, on selle investeringu hind enamiku toodete korral nii kõrge, et majanduslik tasuvus saavutatakse võrreldes muu tehnoloogiaga mitmekümne aasta pärast. Nii on Trilux Luceo leedvalgusti tasuvusajaks võrreldes hetkel kehtiva valgustuslahendusega induktiivsete liiteseadistega 21,5 aastat.

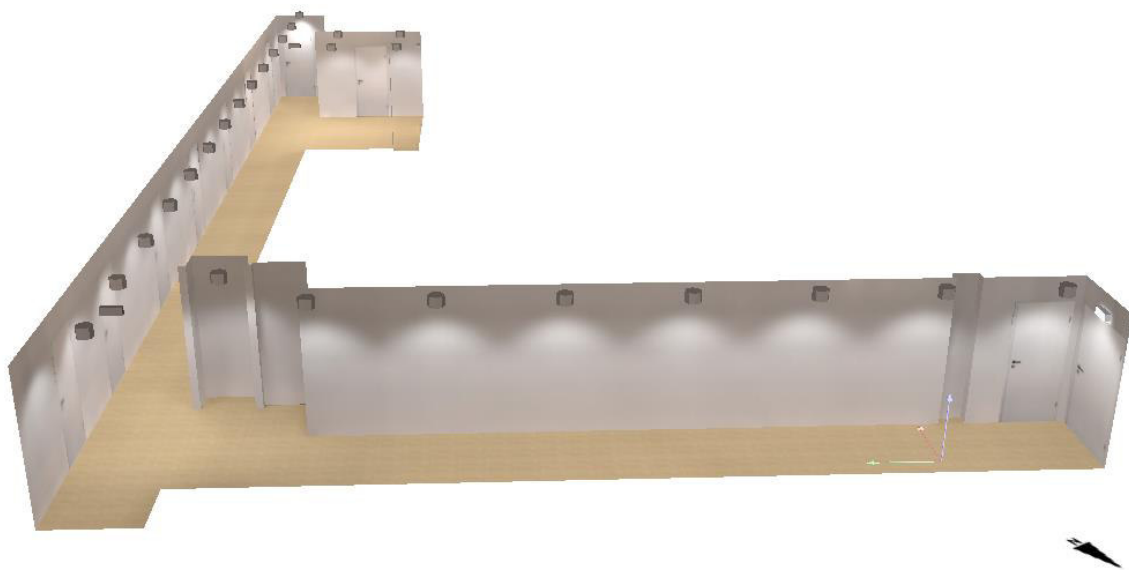
Jooniselt on näha, et leedvalgustid ei suuda täna õpperuumi üldvalgustamisel hinnas konkureerida T5-luminofoorvalgustite lahendustega, vaatamata sellele, et tegemist on valgustuse kõige säästlikuma tehnoloogiaga. Ka on sama ruumi ühtlaseks valgustamiseks vaja rohkem leedvalgusteid kui luminofoorvalgusteid. Küll aga on käesolev tehnoloogia parem nii hinna kui kvaliteedi poolest induktiivseid liiteseadiseid sisaldavast valgustuspaigaldisest.

4.2.2. Üldkasutatavate ruumide valgustuspaigaldise energiatõhusus

4.2.2.1. Koridori 418 energiatõhus valgustus

Vaatleme järgneva näitena valgustuspaigaldise energiasäästu potentsiaali töötajate töötsooni koridoris 418.

Koridori valgustatakse praegu 26 kompaktluminofoorvalgustiga GCN24 2 x 18 W, milles on induktiivne liiteseadis ja läikiv reflektor. Ühe valgusti koguvõimsuseks on tootja andmete järgi 52 W (joonis 4.7). Elektrotehnika instituudi töötajate töötsooni koridori valgustus on sees 24 h 365 päeva aastas, kuna valgustid töötavad pidevalt. Teistel korrustel lülitub valgustus tööpäeviti välja kell 22.00. Andmed pärinevad elektrotehnika instituudi töötajatelt.



Joonis 4.7. Koridori 418 joonis DIALux programmis

Taolistes tingimustes on üldvalgustuse energiatarbimine 11097,58 kWh/a, $LENI = 164,97$ kWh/(a×m²), mis on üks energiatarbimisrohkematest ruumidest võrreldes teiste töös käsitletavate valgustuspaigaldistega.

Tingimustes, kus valgustite sisselülitamine toimuks käsitsi näiteks alates kella 7.00 ja väljalülitamine programmikellaga kell 22.00 ehk valgustuspaigaldis töötaks 15 tundi päevas argipäeviti, saaks vähendada koridori valgustuspaigaldise energiatarbimist valgustit muutmata kuni 4940,74 kWh/a, $LENI = 73,45$ kWh/(a×m²), mis on u 55%-line säästupotentsiaal võrreldes praeguse energiatarbimisega.

Vaatleme ja võrdleme edaspidi koridori valgustuspaigaldise töötamist eelpoolnimetatud lühendatud ajaarvestuse järgi.

Liiteseadiste vahetamisel elektrooniliste liiteseadiste vastu koos liikumisanduritega ja valgustuse hämardamisega saab energiatarbimist vähendada kuni 2381,75 kWh/a, $LENI = 35,41$ kWh/(a×m²), mis vähendaks valgustuspaigaldise energiatarbimist veel 52 % võrra.

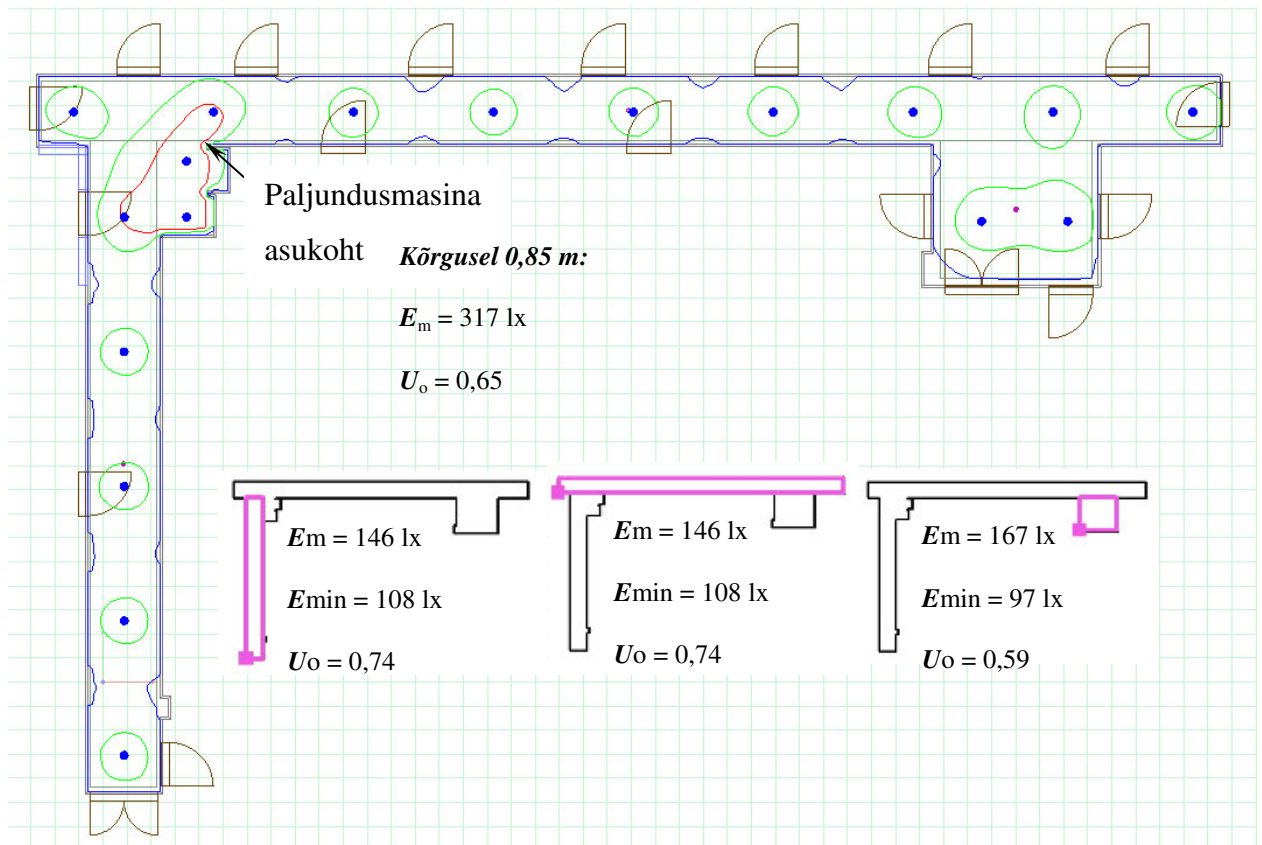
Võrdleme sama tingimuste juures näitena ka leedvalgusti ja uuemate kompaktluminofoorvalgustite mõju energiaefektiivsusele. Kasutame selleks ühte tootegruppi kuuluvaid Zumtobeli valgusteid (tabel 4.5).

Tabel 4.5. Koridori 418 valgustamiseks väljavalitud valgustid

Valgusti nimi	Panos LF	Panos INF
Võimsus	1 x 18 W	16 W
Lampide/ leedide arv	21	18
Lambi tüüp	TC-D	LED
Lampide arv	26	18
Valgusvoog lm	1200	1200
R_a	80–89	90–99
T_{cp}	3000	3000

EVS EN 12464-1:2011 standardi järgi on liiklusalade, koridoride ja treppide üldvalgustuse hooldeväärtuseks 100 lx ja valgustuse ühtluseks 0,4. Standard lubab $UGR = 28$ ja $R_a = 0,4$, kuid erinõudena on märgitud, et nende lõplikul määramisel peab arvestama samade väärtustega naaberpiirkondades [26]. Koridori 418 on paigutatud koopiamasin, mistõttu tuleb selles piirkonnas tagada suurem valgustustiheduse hooldeväärtus. Kuna senine koridori valgustuslahendus oli väga ühtlase valgustustiheduse jaotusega, püüame valgustuse planeerimisel hoida käesolevat valgustustaset.

Käsitlеме esialgselt leedvalgustitega valguslahenduse varianti (joonis 4.8)

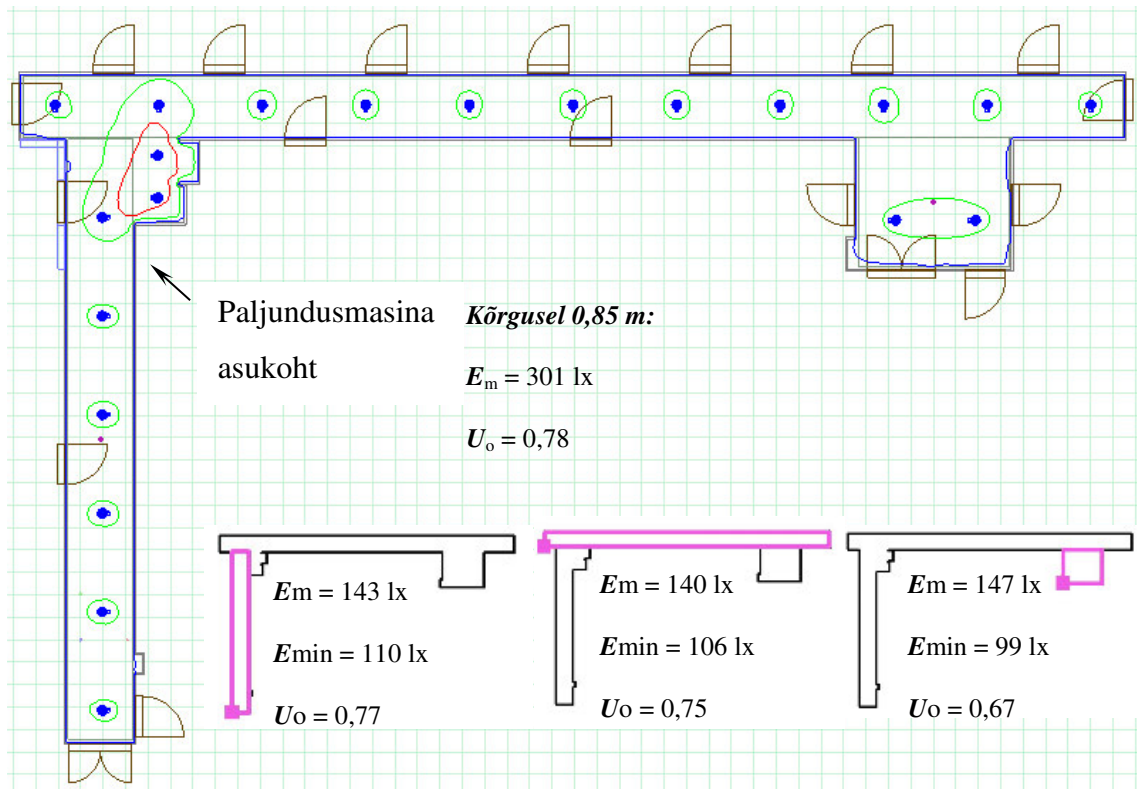


sinine – 100 lx, roheline – 200 lx, punane – 300 lx

Joonis 4.8. Koridori 418 valgustamine leedvalgustitega

Leedvalgustite kasutamisel oleme taganud ühtlase valgusjaotuse kogu ruumiosas. Piirkonna aastane energiatarbimine on DIALuxi arvutuste kohaselt 713,89 kWh/a ja $LENI = 10,61 \text{ kWh}/(a \times m^2)$, mis on enam kui 6,9 korda säästlikum praegu kasutatavast tehnoloogiast.

Normikohast ühtlast valgustust võib saavutada ka uuemate kompaktluminofoorvalgustitega, mille ühe valgusti võimsus on kahe võrra madalam seni kasutatavatest valgustitest (joonis 4.9).



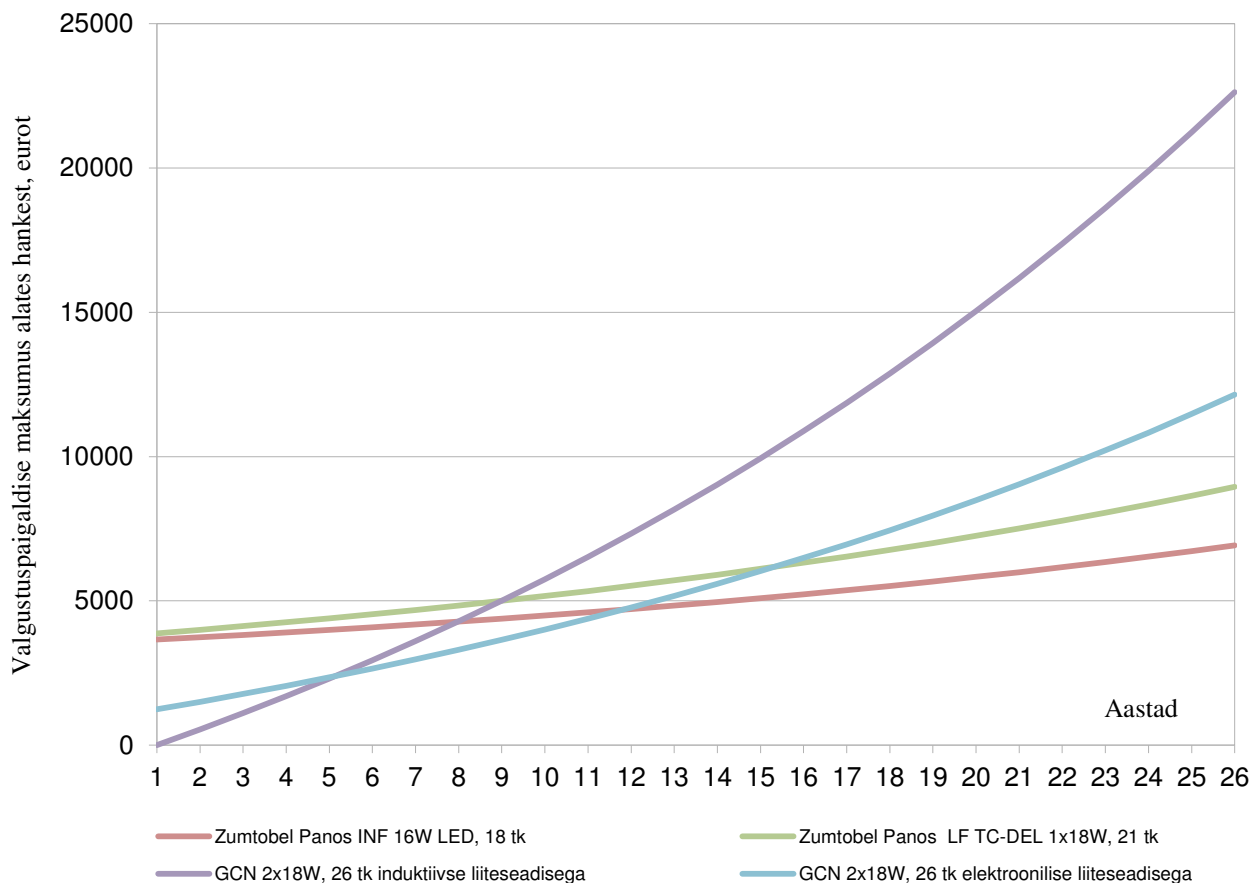
sinine – 100 lx, roheline – 200 lx, punane – 300 lx

Joonis 4.9. Koridori 418 valgustamine kompaktluminofoorlampidega

Aastane energiakulu oleks arvutuste kohaselt 1108,10 kWh/a ja $LENI = 16,47 \text{ kWh}/(\text{a}\times\text{m}^2)$.

Parima lahenduse kohta on toodud lisa valgusarvutused ja energiahinnang (L.2-L.12)

Lihtsa tasuvusarvutusega määrame mõlema vaadeldud lahenduse valgustite tasuvusaja (joonis 4.10).



Joonis 4.10. Koridori 418 võrreldavate ja olemasoleva lahenduse lihtsaim tasuvusarvutus

Erinevalt tööruumide leedvalgustitest on koridoris ettenähtud leedvalgustid hinnalt võrdväärset kompaktluminofoorvalgustitega. Nii on Zumtobel Panos INF LED valgusti kataloogihind 192,17 eurot, samas kui selle kompaktluminofoorlambiga analoog maksab 175,21 eurot.

Lähtuvalt sellest on siin leedvalgusti favoriit ja investeering tasub ennast ära juba u 8 aastaga. Võttes arvesse aga valgustuspaigaldise praegust kasutusmudelit võib leedvalgustite kasutamine ära tasuda koguni 3 aastaga.

4.2.2.2. Aatriumi ja trepikoja 434 energiatõhus valgustus

Aatriumi ja trepikodade energiatõhususe parendamiseks on soovitatav asendada induktiivsed liiteseadised elektrooniliste juhitavate liiteseadistega ja tagada päevavalgusest sõltuv valgusjuhtimine (tabel 4.6), kuna päevavalguse osakaal neis ruumides on suur. Aatriumis kasutame selleks iga korruse kohta kaht päevavalgusandurit ja trepikojas üht, mis tuleks paigutada sellisele kohale, kuhu päevavalgus paistab harvemini.

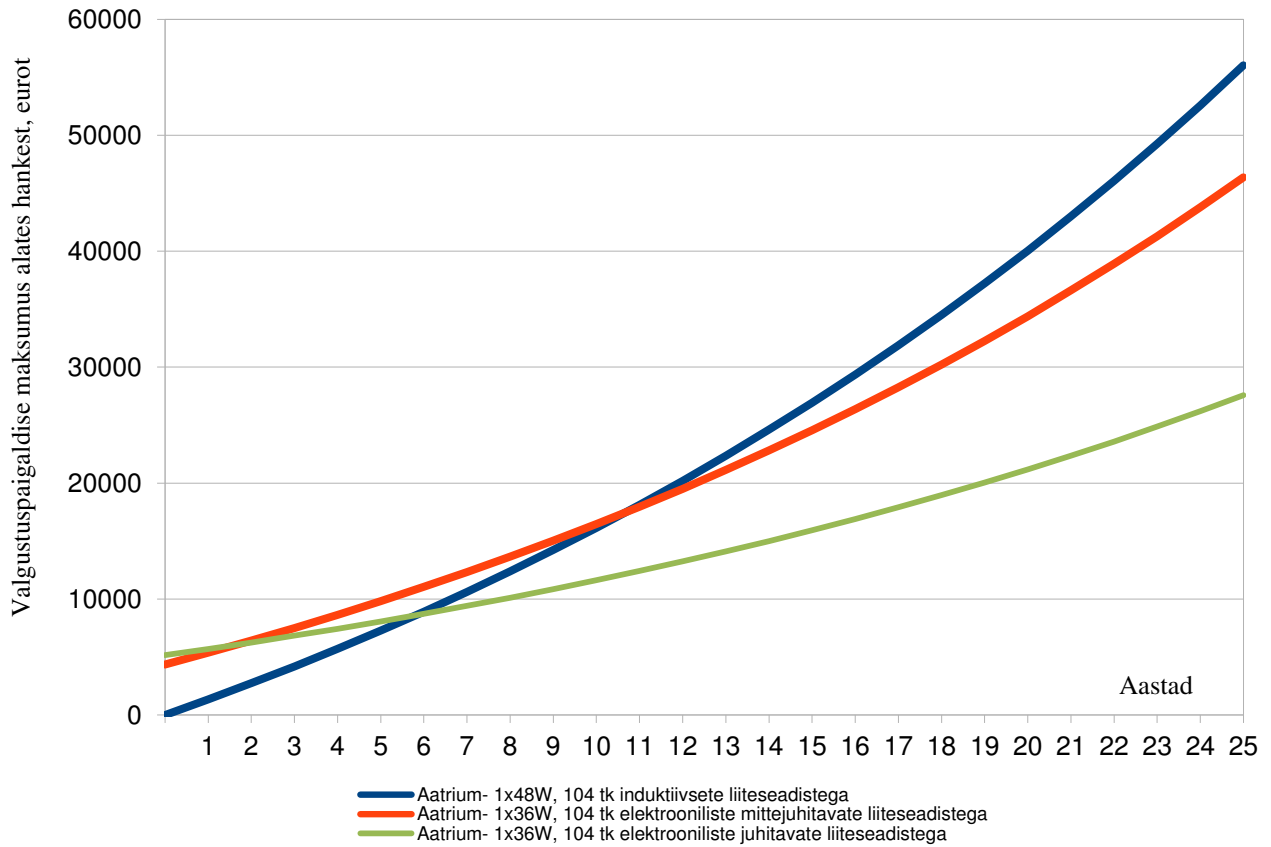
Võttes arvesse aatriumi ja trepikodade kasutamise kestuse analoogselt 418 koridori võimaliku lühendatud ajaga, saame energiatarbimise kohta järgnevaid väärtusi.

Tabel 4.6. Aatriumi ja trepikoja erilahenduste energiatõhususe arväärtused

Ruumi number	Energiakulu aastas [kWh/a], olemasolev lahendus	Energiakulu aastas [kWh/a], mittejuhitav lahendus	Energiakulu aastas [kWh/a], päevavalgusest sõltuv juhitav lahendus
Aatrium 1 x 36 W 104 tk	12227,42	9170,57	4892,88
LENI [kWh/(a×m ²)]	86,62	64,97	34,66
Energiasääst, %	–	25	60
Trepikoda 434 2 x 58W 13 tk Energiakulu	4843,92	3797,55	2218,36
Energiasääst, %	–	22	54

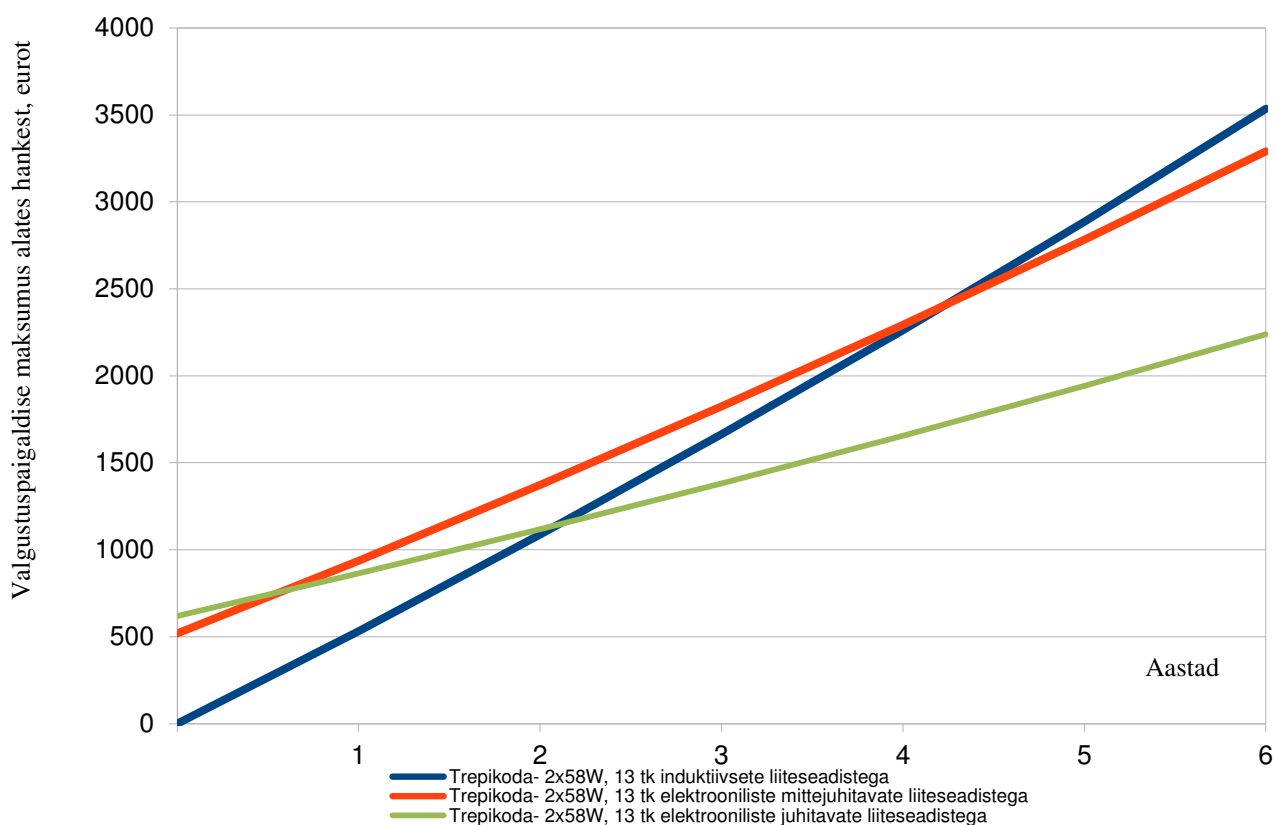
Sellela saavutatav energiasääst on märkimisväärne. Valgustite asendamine energiatõhusamatega ei oleks arvestades tehtavate tööde mahtu majanduslikult otstarbekas. Ka ei sobi uued valgustid mõõtmetelt alati vanemate mudelitega, mis võib tuua kaasa täiendavaid viimistlus- ja ehituskulusid.

Aatriumis tasuks materjalide kulu ennast ära sujuva päevavalgusjuhtimisega juba 6 aastaga, pelgalt liiteseadiste vahetamine aga 11 aastaga (joonis 4.11). Valgustuse sisse- ja väljalülitamine on seejuures soovitatav lahendada programmkellaga. Nii saab süsteemi optimeerida, võttes arvesse ka tühijooksukadusid.



Joonis 4.11. Aatriumi valgustuspaigaldise muutmise erilahenduste lihtsaim tasuvusarvutus

Trepikoja puhul tasuks taoline lahendus ära vastavalt u 2 ja 4,2 aastaga (joonis 4.12).



Joonis 4.12. Trepikoja 434 valgustuspaigaldise muutmise erilahenduste lihtsaim tasuvusarvutus

4.2.3. Tööruumide energiaefektiivne valgustus

Tööruumide valgustamiseks kasutatakse mittejuhitavate elektrooniliste liiteseadistega ja reflektoritega valgusteid 2 x 58 W T8-luminofoorlampidega, mille võimsus on 106 W.

Elektrotehnika instituudi töötajate seas korraldatud küsitlus näitas, et instituudi töötajad veedavad suure osa tööajast tööruumides, mistõttu on valgustuse kvaliteet töötaja töövõimsuse ja heaolu vaatevinklist eriti tähtis. Käesolevas lõigus hindame kontori kolme valgustuslahendust ja nende energiatõhusust, arvestades töötajate küsitluse käigus kogutud andmeid.

Ühe levinuma kontoritüübi hulka kuulub ruum 406 (joonis 4.13).



Joonis 4.13. Tööruumi 406 joonis DIALux programmis

Töötajate küsitluse tulemuste järgi on töötajad valgustuslahendusega analoogses kontoritüübis jäänud rahule, mistõttu pöörame siinkohal tähelepanu peamiselt energiatõhususe parendamise võimalustele.

Erinevalt õppe- ja muudest üldkasutatavatest ruumidest on töökohtadel soovitatav lahendada valgustus töökohapõhiselt, kuna selle asukoht on enamasti täpselt teada. Vahetu ümbruse ja taustapiirkond ei vaja niipalju valgust ning sellest tulenevalt on võimalik tagada parim energiatõhusus, kasutades piisavat valgustust just seal, kus seda vaja on.

DIALux arvutustulemuste järgi on ruumi üldvalgustuse aastane energiakulu büroo kohalolekutegurit arvestades 306,82 kWh/a ja $LENI = 22,31 \text{ kWh}/(\text{a}\times\text{m}^2)$. Päevavalgusest sõltuva juhtimise korral saame vähendada energiakulu kuni 187,52 kWh/a ja $LENI = 13,46 \text{ kWh}/(\text{a}\times\text{m}^2)$ ehk u 39% võrra.

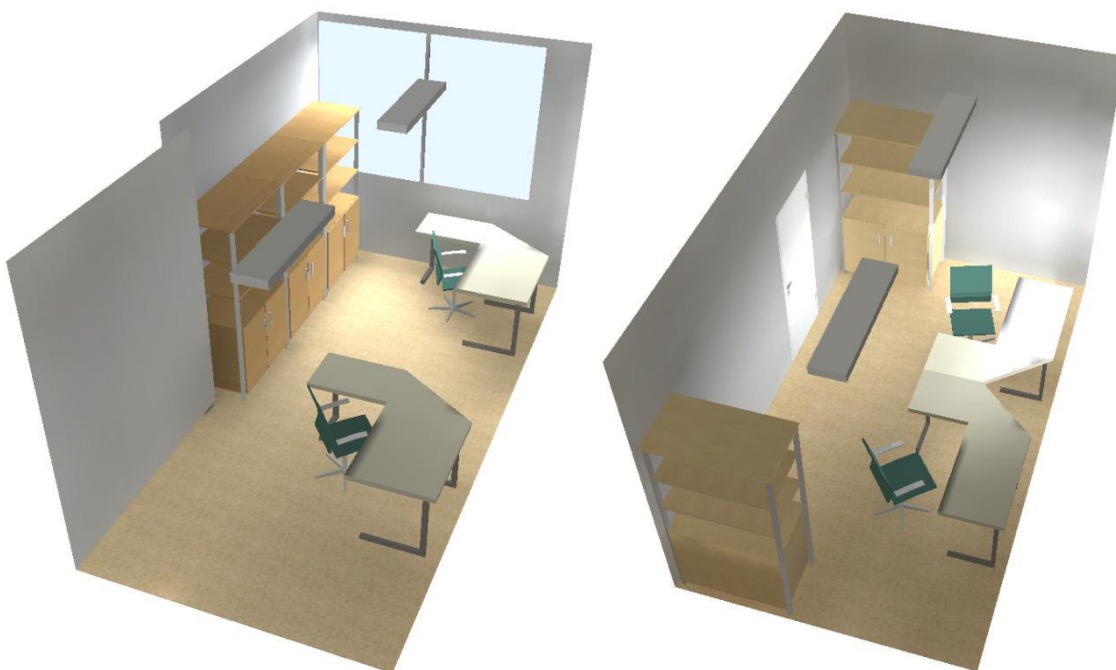
Kuna enamik taoliseid ruume asub maja päikesepoolsel küljel, siis neis ruumides oleks eeskätt vaja tagada paremad päikesekaitstesüsteemid, mis suunavad valgust rohkem ruumi sisse, nagu seda on korduvalt eespool mainitud. Piisava mittepimestava valgustustaseme tagamisel on vajadus tehisvalgustuse järele väiksem ja nii saab vähendada energiatarbimise kulusid.

Täiesti teine olukord on ruumides 411 ja 413, kus töötajad on viidanud valgustuse halvale lahendusele tööruumis.

Töötajate arvamused valgustuse kohta jagunesid tööruumis 411 kaheks. Töötaja, kelle töökoht asub akna lähedal, oli valgustustingimustega rahul, samas töötaja ruumi keskel tundis end ebamugavalt. Päevavalguse osakaal ruumi keskel on ebapiisav ning üldvalgusti jääb töötaja selja taha. Nii varjab töötaja enda ülakehaga valguse langemise töötasapinnale. Olukorra parendamiseks on kasutusele võetud lauavalgusti. Samas ei taga see kogu töötasapinna ühtlast valgustamist, vaid on suunatud kitsale alale.

Selja taga asuva valgusti nihutamine piki valgustussiini võimaldaks olukorda valgustehniliselt mõnevõrra parendada. Parim tulemus on võimalik saavutada töökohta ümberpaigutamisega: arvuti paigutamisel vaatesuunaga aknasse (laud asub sügavalt ruumi sees, seega pole töötaja pimestamist vaja karta) või siis mõne teise sobiva töölaua soetamisel ja istumisel seljaga seina poole. Ruumi energiaefektiivsust saab parendada päevavalgusjuhtimisega.

Ruumis 413 jääb aga valgusti pikliku kuju tõttu töötajate vaatevälja nii, et pimestab töötajaid, mistõttu on üldvalgustus enamasti välja lülitatud (joonis 4.14).



Tööruum 411

Tööruumi 413

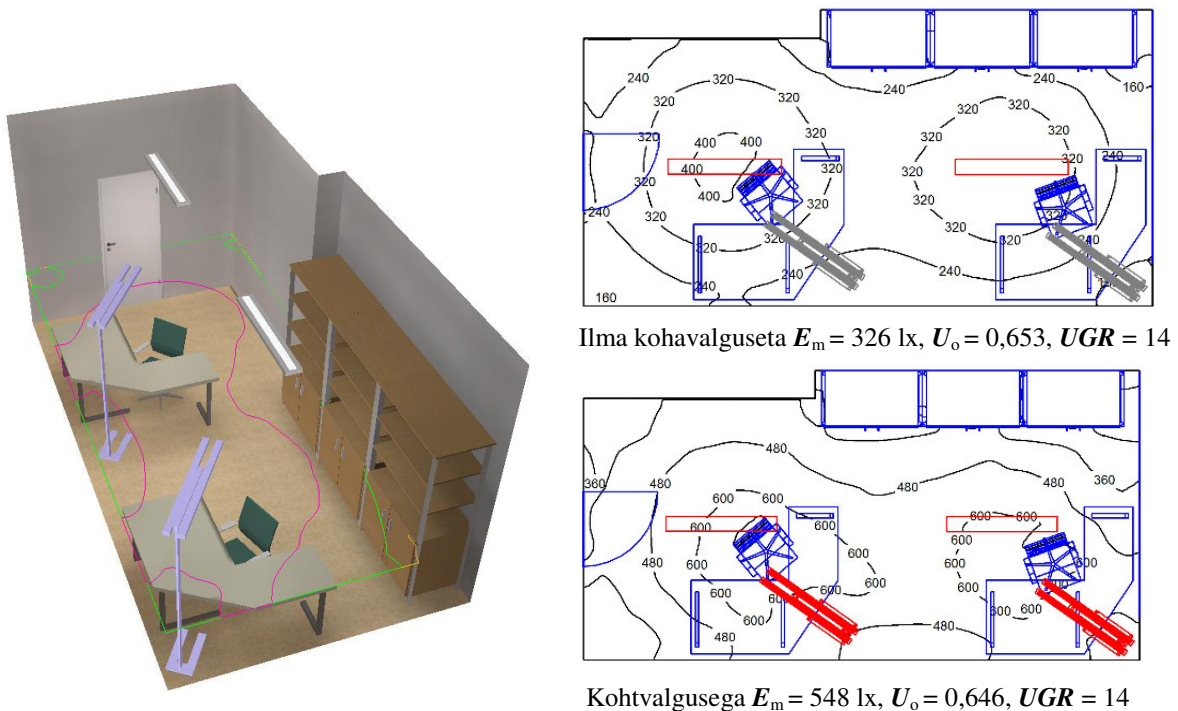
Joonis 4.14. Ruumide 411 ja 413 joonis DIALux programmis

Toon siinkohal mõned alternatiivlahenduste näited, hinnates ka nende energiatõhusust ja tuues välja maksumuse. Võrdleva tasuvusarvutuse jätan siin välja, kuna neis ruumides on kesksel

kohal inimene. Isoliinid ruumi 3D-joonistel vastavad järgnevatele valgustustiheduse väärtustele: punane – 500 lx, roheline – 300 lx, oranž – 200 lx.

Olukorras, kus eelnevalt mainitud muudatused ruumis 411 ei taga soovitatavat tulemust, võib kaaluda lisavalgustite kasutusele võtmist tööpiirkonna paremaks valgustamiseks. Oluline on seejuures tagada kvaliteetne valgustuskeskkond, kasutades energiasäästlikumaid lahendusi. Vaatleme siin näitena mõnd lahendust.

Büroo 411, Variant 1: Üldvalgustus on tagatud Trilux 5051RMV 2 x 28 W valgustiga, mis tagab ruumi ühtlase valgustuse valgustustihedusega 300. Töökohtade juurde on paigaldatud põrandalambid Trilux Offset S1 28 W, mis tagavad koos üldvalgustusega tööpiirkonna valgustuse ruumi keskel $E_m = 574$ lx, $U_0 = 0,851$ ja akna all $E_m = 555$ lx, $U_0 = 0,836$ (joonis 4.15). Alternatiivina võib kasutada seinavalgusteid või tökohavalgusteid, mis tagavad kogu tööpiirkonna valgustuse vastavalt vajadusele.



Joonis 4.15. Ruumi 411 valgustuslahenduse variant 1

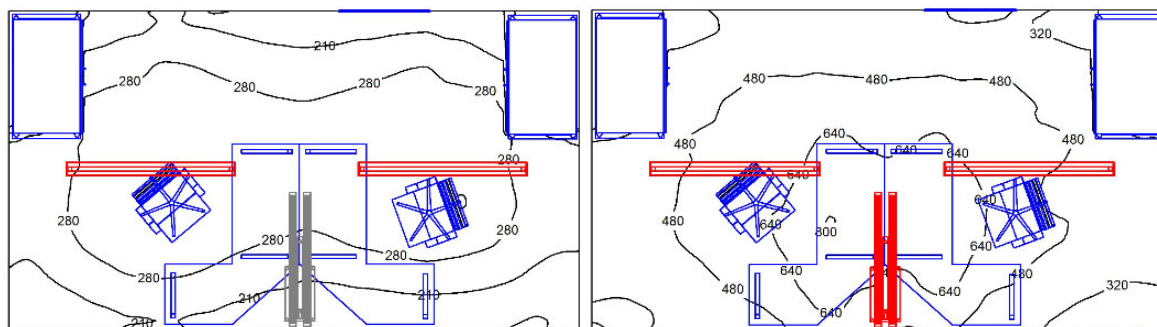
Energiakulu päevavalguse juhtimiseta 417,99 kWh/a ja $LENI = 22,85$ kWh/(a \times m²).

Energiakulu koos päevavalguse juhtimisega 283,22 kWh/a ja $LENI = 15,48$ kWh/(a \times m²).

Olemasoleva valgustuslahenduse energiakulu on 389,42 kWh/a ja $LENI = 21,29$ kWh/(a \times m²).

Valgustite maksumus on 2014 eurot. Käesolev lahendus sobib kasutamiseks ka valgustehniliste omaduste iseloomu poolest.

Analoogne lahenduse korral ruumis 413 saame järgneva tulemuse (joonis 4.16).



Üldvalgustus: $E_m = 304 \text{ lx}$, $U_o = 0,703$, $UGR = 15$

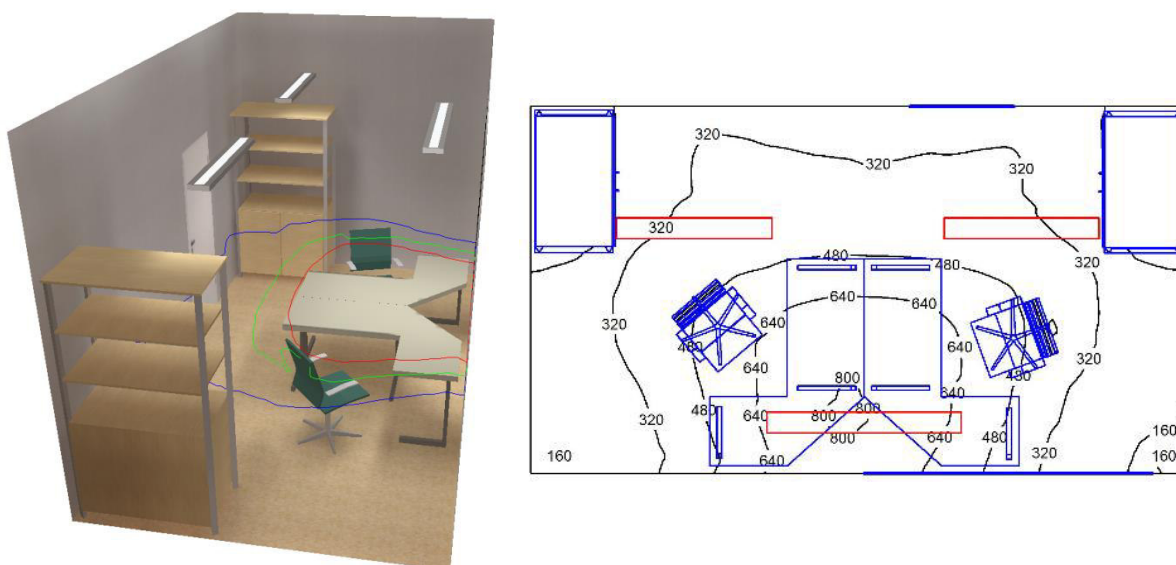
Töökohavalgustus: $E_m = 625 \text{ lx}$, $U_o = 0,685$, $UGR = 14$

Joonis 4.16. Ruumi 413 valgustuslahenduse variant 1

Ruumi valgustuse väärtused kõigi kolme valgustiga: $E_m = 570 \text{ lx}$, $U_o = 0,674$, $UGR = 14$

Energiakulu mittejuhitavate elektrooniliste liiteseadistega on 303,84 kWh/a ja $LENI = 21,04 \text{ kWh}/(a \times m^2)$. Olemasoleva valgustuspaigaldise valgustuslahenduse energiakulu on 365,41 kWh/a ja $LENI = 25,31 \text{ kWh}/(a \times m^2)$.

Valgustite maksumus on 1115 eurot. Kuna mõlema lahenduse hind on liiga kõrge, pakun näitena veel ühe lahenduse. Alternatiivlahendus ruumis 413 on järgmine (joonis 4.17).

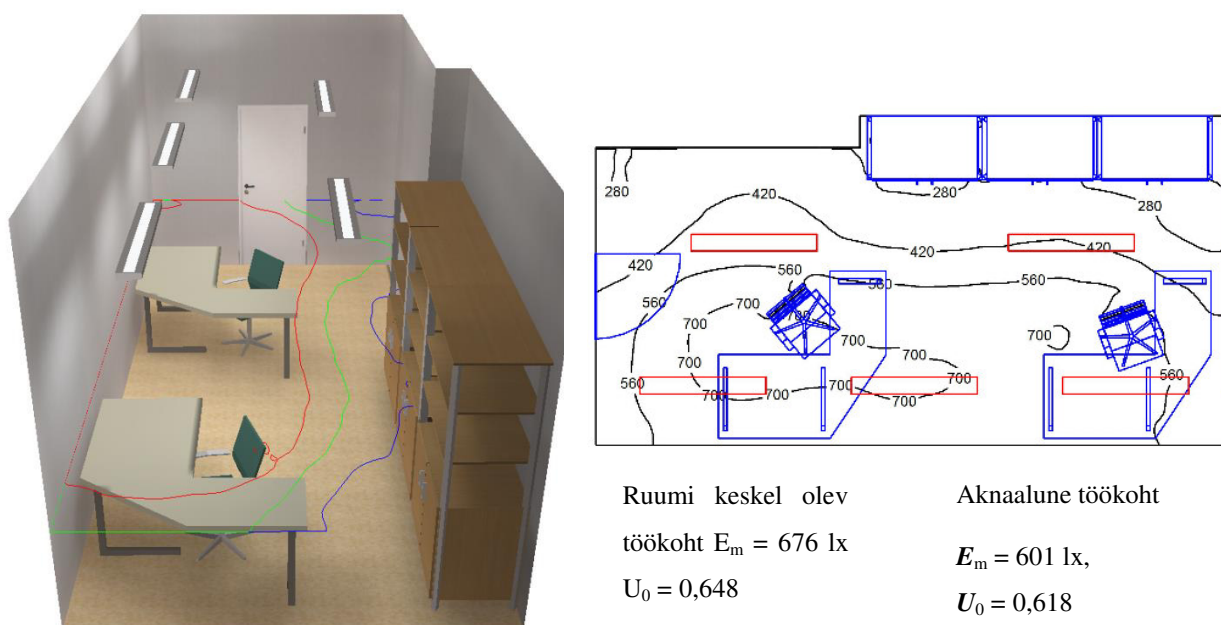


Joonis 4.17. Ruumis 413 valgustuslahenduse variant 2

Ruumi üldvalgustuse näitajad on järgmised: $E_m = 465 \text{ lx}$, $U_0 = 0,49$, $UGR = 18$. Tööpiirkonna valgustusel on $E_m = 518 \text{ lx}$, $U_0 = 0,918$. Istudes paralleelselt aknaga ei jää valgustid töötaja vaatamissuunda.

Energiakulu mittejuhitavate elektrooniliste liiteseadistega on 256,83 kWh/a ja $LENI = 17,79 \text{ kWh}/(a \times m^2)$, mis on praegusest lahendusest 30% võrra väiksem. Valgustuslahenduse maksumus on 303 eurot (Trilux 5051 AL-RMV 1 x 28 W).

Sarnaste valgustite kasutamisel ruumis 411 saame allpooltoodud tulemused (joonis 4.18). Töökoha peal on valgustitena kasutatud 3 x Trilux 5051 AL-RMV 2 x 28 W ja ruumi keskel sama mudelit 2 x 1 x 28 W.



Joonis 4.18. Ruumi 411 valgustuslahenduse variant 2

Ruumi üldvalgustuse väärtused: $E_m = 565 \text{ lx}$, $U_0 = 0,47$, $UGR = 17$. Valgustuslahenduse maksumus on 514 eurot.

Energiakulu mittejuhitavate elektrooniliste liiteseadistega on 411,46 kWh/a ja $LENI = 22,50 \text{ kWh}/(a \times m^2)$. Päevavalgusjuhtimisega 285,25 kWh/a ja $LENI = 15,60 \text{ kWh}/(a \times m^2)$. Meeldetuletuseks praeguse lahenduse andmed: 365,41 kWh/a ja $LENI = 25,31 \text{ kWh}/(a \times m^2)$. Energiasääst 22%.

Mõlema variandi korral nii ruumis 411 kui ka ruumis 413 jääb vähenenud valgustustiheduse ühtlus lähi- ja taustapiirkonda, millega on rahuldatud standardis EVS EN 12464-1:2011 esitatud nõuded.

Valgustuspaigaldise energiatõhususe parendamisega vähenevad ka energiakulud sisekliimale. Valgustid tekitavad töötamisel soojust, mis võetakse arvesse ruumi sisekliima projekteerimisel. Mida väiksem on valgustite koguvõimsus, seda vähem kulutatakse energiat ka normaalse sisekliima tagamiseks. Kokkuvõttes on energiasääst, arvestades nii valgustusele kui ka sisekliimale kulutatavat energiat, tervikuna tunduvalt suurem.

Lõputöö kokkuvõte

Uurimistöö tulemused näitasid, et energiaefektiivse valgustusega on võimalik saavutada olulist säästu energiatarbimises.

Energiaefektiivsus ei tähenda sugugi üksnes energia kokkuhoidu, vaid ressursside optimaalset kasutust ehk väiksemat energiakulu suurema mugavuse ja kasulikkuse juures.

Energiaefektiivse valgustuse all käsitleme sellist valgustust, mis ühelt poolt vastutab parema nägemisvõime, -mugavuse ja meeldiva miljöö eest ning teiselt poolt tagab valgustuspaigaldise energiatarbimise ja juhtimise.

Nõuded valgustuse kvaliteedile sätestab valgustuse standard EVS-EN 12464-1 „Valgus ja valgustus. Töökohavalgustus” 1. osa „Sisetöökohad”. Teemaatilise kirjanduse ülevaade tõi rohkelt näiteid valgustuse positiivsest mõjust inimese heaolunnetusele, töövalmidusele, keskendumisvõimele ja tööefektiivsusele. Nende parendamiseks on soovitatav tagada võimaluse piires päevavalguse juurdepääs ruumi tööpiirkonda.

Statistiliste andmete kohaselt on elektrienergia suurimaks tarbijaks avalik ja teenindussektor. Ühiskondlike hoonete puhul, mis kuulubki antud sektorisse, kulub valgustusele kuni 60% energiatarbimisest, vaata joonis 1.9. 2007. aastal McKinsey Instituudi korraldatud uuring „Kasvuhoonegaaside emissiooni vältimise kulud ja võimalused” tõi energiasäästu ja kasvuhoonegaaside vältimise üheks olulisematest teguritest hoonetesektoris valgustuse parendamise, p 1.2. Valgustuse parendamist hinnati kui üht soodsamat ja efektiivsemat investeeringut energiatarbimise vähendamiseks. Kuigi energia säästmine on oluline, ei tohi planeeritavate säästumeetmete all samal ajal kannatada valgustuse kvaliteet. Hea valgustusplaneering asetab alati keskele kohale inimesed ja nende vajadused.

Eestis on ehitusseadusega sätestatud nõuded energiatarbijatele lahendustele. Energianõuded hoone sisevalgustusele täpsustab standard EVS-EN 15193:2007, mis määratleb ka sertifitseerimiseks vajaliku valgustusenergia arvvaartuse (**LENI** – valgustuspaigaldise aastane energiakulu ruutmeetri kohta) ülempiiri. Mida väiksem on **LENI** väärtus, seda energiasäästlikum on ka valgustuslahendus. Energiatarbijate arendamise rolli tähtsust kinnitas ka energiamajanduse arengukava eelnõu aastani 2030. Tähtsat rolli mängib siinjuures avaliku sektori eeskuju nagu ka olemasoleva hoonefondi ja uute hoonetega seotud eeldatava energiatarbijate suurendamine. Energiatarbijate lahendustega tagame jooksvate energiakulude madalama taseme ja tehtud kapitalikulude kiirema tasuvusega võrreldes energiakulude lahendustega.

Parim valgustuse energiaefektiivsus saavutatakse, kasutades kõrge valgusviljakusega lampidega varustatud energiatõhusaid juhitavaid anduritega valgusteid või valgustuspaigaldisi, mida ühtlasi korraliselt hooldatakse. Energiaefektiivsete lahenduste võimalusi olen töötanud läbi TTÜ elektrotehnika instituudi näitel, kasutades selleks DIALux valgusarvutusprogrammi.

Energiatõhusamad on kõrge kasuteguriga elektrooniliste liiteseadistega ja kõrge talitluskasuteguriga valgustid, mis leidis kinnitust ka uurimistöös. Nii on p 4.2.1 induktiivse liiteseadistega valgustitel (ruum 430) arvatud energiakulu aastas 1811,89 kWh, $LENI = 30,11 \text{ kWh}/(a \times m^2)$. Sama arvu ja tüüpi valgustitel elektrooniliste liiteseadistega (ruum 423, tabel 4.1) on energiakulu aastas 1316,2 kWh, $LENI = 19,05 \text{ kWh}/(a \times m^2)$. Võimalik energiasäästupotentsiaal 27%.

Hoolikalt läbimõeldud valgustite optiline süsteem, suunab valgustust paremini töökohtadele ja ruumi, millega saab vähendada kasutatavate valgustite arvu, kuid võimaldab kasutada ka väiksema võimsusega lampe. Nii saab punktis 4.2.2.1 käsitletud uuemat tüüpi valgustite ja valgusviljakamate 1x18 W kompaktluminofoorlampidega liikumisanduritega ja valgustuse hämardamisega tagada koridoris 418 valgustuse, mille energiakulu on 1108,10 kWh/a ja $LENI = 16,47 \text{ kWh}/(a \times m^2)$. Hetkel kasutatavates valgustites on 2 x 18 W sama tüüpi lambid induktiivsete liiteseadistega, mille energiakulu on 4940,74 kWh/a, $LENI = 73,45 \text{ kWh}/(a \times m^2)$ 15tunnisel kasutamisel. Tegelikult töötavad koridori 418 valgustid ööpäev läbi, mistõttu on valgustuspaigaldise reaalne energiakulu enam kui kaks korda suurem märgitust.

Olulist energiatarbimise säästmisvõimalusi olen tuvastanud ka õpperuumides. Tehtud arvutused näitasid, et sama ruumi valgustamisel võib uute erivalgustite energiatõhusus erineda kordades. Arvutustes kasutatavate toodete puhul olen tuvastanud 15% erinevuse (p 4.2.1), mistõttu on eriti oluline energiatõhususe arvestamine valgustuspaigaldise planeerimisel.

Energiasäästlikumat lahendust pakuvad leedvalgustid, kuid nende kõrge hinna tõttu ei suuda need hetkel veel konkureerida õpperuumide valgustamisel valgusviljakamate luminofoorlampidega. Alavalgustitena on juba tänapäeval saadaval kvaliteetseid tooteid, mis hinna poolest sarnanevad luminofoorlampide variandiga. Nii sai koridori 418 valgustamisel leedvalgustitega tagada 15tunnisel kasutamisperioodil valgustuspaigaldise aastase energiakulu 713,89 kWh/a ja $LENI = 10,61 \text{ kWh}/(a \times m^2)$, mis on valgustuspaigaldise kasutamisel sama aja kohta enam kui 93% säästlikum võrreldes olemasoleva lahendusega. Leedvalgustite korral on eriti oluline valgusti usaldusväärsus, mille tagab sõltumatu labori ohutussertifikaat (Euroopas tagab selle ENEC), vastasel juhul võib osutada toode lubatust viletsamaks ja selle eluiga tunduvalt lühemaks.

Energiatõhus valgustus eeldab valgustuse suunamist sinna, kus seda antud ajahetkel või töö tõttu tegelikult vajatakse. Nii ei kulutata lisaenergiat mittevajalike piirkondade valgustamiseks ja see on EVS EN 12464-1 valgustusstandardi järgi aktsepteeritav.

Valgustuse suuremat säästupotentsiaali saab tagada valgustuse juhtimisega. Siin saab kasutada end õigustanud DALI-digitaaljuhtimissüsteemi või sellel põhinevaid muid juhtimisviise, näiteks EnOcean juhtmevaba akupatareideta tehnoloogiat. Nii tagab päevavalgusest sõltuv valgustuse juhtimine valguse väljalülitamise piisava päevavalguse olemasolul, säästes sellega elektrienergiat. Lisades ka kohalolekuanduri, tagatakse valgustuse väljalülitamine, kui kedagi ruumis ei ole. Päevavalgusest sõltuval valgustuse juhtimisel on oluline päevavalguse suur osakaal ruumis. Nii saaks käesoleva süsteemi rakendamisel aatriumis ja trepikojas 434 tagada energiasäästu isegi 54–60% (p 4.2.2.2). Materjali tasuvusaeg võib neil juhtudel olla sõltuvalt ruumist vastavalt 6 ja 2 aastat. Ruumides, kus vähe liigutakse, saab valgustuse tõhusat kasutamist tagada liikumisanduritega. Valgustuse juhtimisega saab inimesi ka ergastada, mis aitab õppematerjali paremini omandada, kuid ka tagada paremaid tulemusi eksamitel.

Valgustid tekitavad töötamisel soojust, mis võetakse arvesse ruumi sisekliima projekteerimisel. Mida väiksem on valgustite koguvõimsus, seda vähem kulutatakse energiat ka normaalse sisekliima tagamiseks. Kokkuvõttes on energiasääst arvestades nii valgustusele kui ka sisekliimale kulutatavat energiat tervikuna tunduvalt suurem.

Kuna praegune valgustuspaigaldis TTÜ energeetika majas ei ole lahenduselt rahuldav ning valgustite ehitusaegne efektiivsus on üle 10aastase kasutusaja tõttu muutunud võrreldes kaasaegsemate valgustussüsteemidega ebaefektiivseks, tuleks kaaluda õppeasutuse valgustuspaigaldise kaasajastamist selliselt, et see muutuks ühtlasi ka õppepolügooniks.

Pöördumisel valgustite maaletoojate poole, saab küsida nende kaasabi valgustite hankimisel õppepolügooni loomise nimel. Sellega väheneksid hankekulud ja tasuvusaeg oluliselt.

Ka on soovitatav eestikeelsete materjalide vähesuse tõttu valgustuse energiatõhususe parendamise kohta töötada välja juhiseid ja soovitusi ühiskondlike hoone valgustuse parendamiseks. See toetaks ka uue energiamajanduse arengukava üht eesmärki.

Kirjandus

- [1] European Commission. Press releases database. (2008). Mitgliedstaaten billigen schrittweise Abschaffung von Glühlampen bis 2012. [Online]. http://europa.eu/rapid/press-release_IP-08-1909_de.htm?locale=en
- [2] P. Tint, „Töökeskkond ja ohutus 2000,“ Ten-Team, Tallinn, 2000.
- [3] J. Kiviall, „Valgustus on töökeskkonna oluline osa,“ Eesti Töötervishoid, (2005) nr 1, lk 24-27, 2005.
- [4] Berufsunfaehigkeit. (2014) Mit Ergonomie am Arbeitsplatz: Senken Sie jetzt Ihr Risiko berufsunfähig zu werden. [Online]. <http://www.berufsunfaehigkeit.com/berufsunfaehigkeitsversicherung/ergonomie-arbeitsplatz>
- [5] Töötervishoiu ja tööohutuse seadus. (2014) [Online]. <https://www.riigiteataja.ee/akt/110022012005?leiaKehtiv>
- [6] Töökohale esitatavad töötervishoiu ja tööohutuse nõuded. (2014) [Online]. <https://www.riigiteataja.ee/akt/12843344>
- [7] Kuvariga töötamise töötervishoiu ja -ohutuse nõuded. (2002) [Online]. <https://www.riigiteataja.ee/akt/72421>
- [8] „Energiamajanduse arengukava aastani 2030“ koostamise ettepanek. (2014) [Online]. http://www.energiatalgud.ee/img_auth.php/9/94/ENMAK_koostamise_ettepanek_05_08_2013_VV-le.pdf
- [9] Eurostat. (2014) [Online]. <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/eurostat/home/>
- [10] Statistikaamet. (2014) [Online]. <http://www.stat.ee/>
- [11] FFE Forschungstelle für Energiewirtschaft e.V. (2009) CO₂-Verminderung in Deutschland: Teil I – Methodik und Zusammenfassung. [Online]. http://www.ffe.de/download/langberichte/FFE_CO2-Endbericht_komplett.pdf
- [12] Dr. J. Waldorf. (2011) Energiekosten sparen – Innovative Technologien nutzen: Potenziale und Trends in der Beleuchtung. [Online].

- <https://www.yumpu.com/de/document/view/7695358/dr-jurgen-waldorf>
- [13] R. Schlich. (2012) Energieeffiziente Beleuchtung für Industrie, Parkhäuser und Logistik: Verbesserung des Wirkungsgrades bei der Beleuchtung. [Online]. http://www.stilaenergy.de/fileadmin/content/Dokupresse_pdf/12_IHK_Verbesserung_des_Wirkungsgrades_Beleuchtung_03-2012.pdf
- [14] FVLR. (2014) Heft 11. Tageslicht und Architektur. [Online]. http://www.fvlr.de/downloads/FVLR-Hefte/FVLR_Heft_11.pdf
- [15] Eesti Standardikeskus. (2010) Eesti Standardikeskuse uudised 2010. [Online]. <http://www.evs.ee/EVS/Uudised/tabid/121/NewsId/e71898cc-bf4c-4f8e-8b91-29cd33aad1b9/Default.aspx>
- [16] T. Tamm. (2011) Uuest töökohtade sisevalgustuse standardist. [Online]. <http://www.tiutammib.ee/materjalid/Elektriala4.2011.pdf>
- [17] M. Laniste. (2014) Energiamaajanduse arengukava aastani 2030. [Online]. http://www.energiatalgud.ee/img_auth.php/c/c8/ENMAK2030_tutvustus_Madis_Laaniste_21_ja_25_m%C3%A4rts_2014.pdf
- [18] Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium. (2014) Lisa 1. ENMAK 2030 meetmete loetelu. [Online]. http://www.energiatalgud.ee/img_auth.php/e/e1/Lisa_1_ENMAK_2030_meetmete_loetelu.pdf
- [19] FEEI. (2007) Energie @ Elektro- und Elektronikindustrie: Moderne Technologien für mehr Energieeffizienz. [Online]. http://www.advantageaustria.org/zentral/business-guide-oesterreich/importieren-aus-oesterreich/branchen/inneneinrichtung/Moderne_Technologien_fuer_mehr_Energie_Effizienz.pdf
- [20] O.Ö. Energiesparverband. (2009) Energie-effiziente Beleuchtung – Leitfaden zur Beschaffung. [Online]. http://www.esv.or.at/fileadmin/redakteure/ESV/Unternehmen/Beschaffung/Leitfaden_Beleuchtung.pdf
- [21] Regiolux GmbH. (2013) Licht – Energie – Umwelt. [Online]. http://doc.regiolux.de/Licht_Energie_Umwelt_2013_D.pdf

- [22] T. Tamm. (2011) Valgustusstandard hoolitseb töötajate silmade eest. [Online]. <http://www.aripaev.ee/default.aspx?publicationid=31503ED6-39D4-4163-9D98-74AA1E3959CE&code=97862>
- [23] Technische Universität Berlin (2013) Valgustustehnika loengukonspektid.
- [24] T. Tamm, „Praktiline valgustustehnika,“ Eetel-Ekspert OÜ, Tallinn, 2011.
- [25] Fördergemeinschaft Gutes Licht. (2014) Wartungswert bei LEDs. [Online]. <http://www.licht.de/de/trends-wissen/licht-specials/led-das-licht-der-zukunft/qualitaetsmerkmale-von-leds/leds-wartungswert/>
- [26] Eesti Standardikeskus. EVS-EN 12464-1:2011 Valgus ja valgustus. Töökohavalgustus. Osa 1: Sisetöökohad. [Online]. <http://www.evs.ee/tooted/evs-en-12464-1-2011>
- [27] T. Tamm. (2006) TTÜ Valgustehnika teiendkoolituse loengumaterjalid. [Online]. <http://www.ene.ttu.ee/elektriamid/oppeinfo/materjal/IN660/Valgustustehnika%20taiend6pe%20EL.pdf>
- [28] Dr. S. Hubalek. (2013) Bei Licht betrachtet: Bürobeleuchtung. [Online]. http://www.uk-bund.de/downloads/PODi/Votr%E4ge_PoDi_2013/HUBALEK_PoDi2013_B%FCrobeleuchtung-.pdf
- [29] M. Flierl. (2014) Der lichttechnisch optimierte Arbeitsplatz (Teil 2): Beleuchtungsplanung für Büro und Verwaltung (BEL2T).
- [30] O. Ö. Energiesparverband. (2010) Innovative und effiziente Beleuchtung. [Online]. http://www.richtig-hell.at/fileadmin/redakteure/ESV/Info_und_Service/Publikationen/Innovative_und_effiziente_Beleuchtung_fin_01.pdf
- [31] Wila. (2014) Informationen zur Wartung. [Online]. <http://www.wila.com/209-Informationen-zur-Wartung-de.html>
- [32] Glamox. (2014) LED ja eluiga. [Online]. <http://glamox.com/ee/led-ja-eluiga>
- [33] Fördergemeinschaft Gutes Licht. (2014) Tageslicht: Grundlagen. [Online]. http://www.fvlr.de/tag_wasistlicht.htm
- [34] C. Schierz. (2014) Farbwiedergabe von LEDs. [Online]. <https://www.electrosuisse.ch/de/kurse-veranstaltungen/fachtagungen/itg->

[veranstaltungen/itg-fachtagungen/140116-led-forum-zuerich.html](http://www.licht.de/fileadmin/Publikationen_Downloads/veranstaltungen/itg-fachtagungen/140116-led-forum-zuerich.html)

- [35] R. Hanßen-Pannhausen. (2012) Beleuchtung von Büroarbeitsplätzen Vorschriftenlage, innovative Entwicklungen und Beleuchtungssysteme [Online]. http://www.baua.de/de/Ueber-die-BAuA/Transferzentrum/Archiv/pdf/Dresdner-Kolloquium-2012-9.pdf?_blob=publicationFile&v=1
- [36] Trilux Lenze GmbH. (2005) 13201 Planungshilfe. Licht für Europas Strassen, Wegen und Plätzen nach DIN 13 201. [Online]. <http://www.ootech.ch/downloads/EN13201.pdf>
- [37] Bayerisches Landesamt für Umwelt. (2010) Effiziente Energienutzung in Bürogebäuden. [Online]. <http://www.erzbistum-muenchen.de/media/media17559520.PDF>
- [38] FVLR. (2014) Heft 18. Tageslicht am Arbeitsplatz. [Online]. http://www.fvlr.de/downloads/FVLR-Hefte/FVLR_Heft_18.pdf
- [39] Greenlight. (2006) Euroopa Greenlight Programm. [Online]. http://iet.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/sites/energyefficiency/files/broch2006_ngl_estonian.pdf
- [40] Eesti Standardikeskus. (2014) EVS 894:2008. Loomulik valgustus elu- ja büroorumides. [Online]. <http://www.evs.ee/tooted/evs-894-2008>
- [41] Fördergemeinschaft Gutes Licht. (2014) Licht.Forum 54. Energieeffiziente Beleuchtung für Kommunen. [Online]. http://www.licht.de/fileadmin/Publikationen_Downloads/lichtforum54_Kommunale_Beleuchtung.pdf
- [42] K. Paulssen, L. Hermann. DENA (2014) Technisches Modul zum Thema Beleuchtung. [Online]. http://www.ibo.at/documents/GB-Modul_Beleuchtung.pdf
- [43] Leuwico. (2014) Ergonomie im Büro: Licht&Beleuchtung. Beleuchtungsstärken. [Online]. http://www.leuwico.com/bueromoebel/bueromoebel_ergonomie/licht_beleuchtung/illumination_level.html
- [44] Fördergemeinschaft Gutes Licht. (2014) Licht.Forum 02. Besser lernen mit gutem Licht. [Online]. http://www.licht.de/fileadmin/Publikationen_Downloads/Lichtwissen02_Besserenlernen.pdf

- [45] T. Tamm. (2011) Odav ühekordne ostuhind *versus* väiksemad hoolduskulud. Elektriala6.2011. [Online]. <http://www.tiutammib.ee/materjalid/Elektriala6.2011.pdf>
- [46] H. Toomla. (2012) Elektrivalgustus. [Online]. http://www.e-ope.ee/download/euni_repository/file/3495/Elektrivalgustus.zip/index.html
- [47] Toimetaja E. Risthein, „Elamute elektripaigaldised,” Eetel-Ekspert OÜ, Tallinn, 2004.
- [48] T. Tamm. (2013) Valgustus ja energiasääst, koostöö teiste eriosadega. [Online]. <http://www.ekvy.ee/attachments/article/17/Valgustus%20ja%20energias%C3%A4%C3%A4st,%20koost%C3%B6%C3%B6%20teiste%20eriosadega%20paljunduseks.pdf>
- [49] U. Rabenstein. (2013) Erfahrungen eines Spezialisten für Lichtberechnung. 5 Weimarer Lichttags – Forum für angewandte Lichttechnik.
- [50] Vikipeedia. (2014) Töökindlus. [Online]. <http://et.wikipedia.org/wiki/T%C3%B6%C3%B6kindlus>
- [51] T. Tamm. (2014) Auditor OÜ täiendkoolituse materjalid – Aktuaalset leedlampidest ja leedvalgustitest sise- ja välispaigaldistes.
- [52] E. F. Schubert. Rensselaer Polytechnic Institute. (2014) Light Emitting Diodes. [Online]. <http://www.ecse.rpi.edu/~schubert/Light-Emitting-Diodes-dot-org/>
- [53] LightingEurope. (2013) LightingEurope guide on photobiological safety in general lighting products for use in working places. [Online]. http://www.lightingeurope.org/uploads/files/LE_Photobiological_Safety_Feb2013.pdf
- [54] Prof T. Q. Khan. (2014) Lebensdauer und Alterung von Hochleistungs-LEDs. [Online]. <https://www.electrosuisse.ch/de/kurse-veranstaltungen/fachtagungen/itg-veranstaltungen/itg-fachtagungen/140116-led-forum-zuerich.html>
- [55] M. Dredge. Supermarkt-Beleuchtung Migros: Erfahrungen vom ersten Supermarkt der Schweiz mit 100% LED bis heute. [Online]. <https://www.electrosuisse.ch/de/kurse-veranstaltungen/fachtagungen/itg-veranstaltungen/itg-fachtagungen/140116-led-forum-zuerich.html>
- [56] Prof T. Q. Khan. (2014) Led Strassenleuchten: Systematik der Leuchtenauswahl, Qualitätsnachweis, Vergleich der Messergebnisse mit Herstellerdaten. [Online]. <https://www.electrosuisse.ch/de/kurse-veranstaltungen/fachtagungen/itg->

[veranstaltungen/itg-fachtagungen/140116-led-forum-zuerich.html](https://www.electrosuisse.ch/de/kurse-veranstaltungen/fachtagungen/itg-veranstaltungen/itg-fachtagungen/140116-led-forum-zuerich.html)

- [57] S. Eiselt. (2014) Applikationsabhängige Anforderungen an Led Lichtlösungen. [Online]. <https://www.electrosuisse.ch/de/kurse-veranstaltungen/fachtagungen/itg-veranstaltungen/itg-fachtagungen/140116-led-forum-zuerich.html>
- [58] ZVEI. (2013) Leitfaden Planungssicherheit in der LED-Beleuchtung. [Online]. <http://www.zvei.org/Publikationen/ZVEI-Planungssicherheit-LED.pdf>
- [59] Trilux Vertrieb GmbH. (2014) 3Lux: letters. [Online]. http://www.trilux.com/fileadmin/Content/DE/PDF/Service/3luxletters/0114_3luxletters_d_e.pdf
- [60] Gebäuedigital Light-Build 2010. (2010) Elektronische oder magnetische Vorschaltgeräte: Der Wirkungsgrad entscheidet. [Online]. <http://www.gebaeuedigital.de/index.php?fachartikeleinzeln&id=53588>
- [61] Wikipeedia. (2014) Luminofoorlamp. [Online]. <http://et.wikipedia.org/wiki/Luminofoorlamp>
- [62] I. Illinõh. (2012) Tehnoloogiliste protsesside automaatjuhtimine. [Online]. <http://opiobjektid.tptlive.ee/Automaatjuhtimine/index.html>
- [63] Glamox. (2014) Valgustuse juhtimine. [Online]. <http://glamox.com/ee/lighting-control>
- [64] Glamox. (2014) DALI. [Online]. <http://glamox.com/ee/dali>
- [65] T. Tamm. (2014) Valgustuse juhtimise arengusuundadest. [Online]. <http://www.ekvy.ee/attachments/article/17/Valgustuse%20juhtimise%20arengusuundadest.pdf>
- [66] Osram. (2014) Grafiken und Anwendungsbilder. [Online]. http://www.osram.de/osram_de/produkte/lampen/leuchtstofflampen/leuchtstofflampen-t5/lumilux-t5-he/index.jsp
- [67] Guss – Gesund und sicher starten. (2003) Fakten. Bildschirm@rbeit-gesund und sicher. Umgebungsfaktoren: Licht und Leuchten. [Online]. http://www.guss-net.de/fileadmin/media/Projektwebsites/Guss-Net/Dokumente/service/downloads/allgemeine_infos_arbeit_gesundheit/GUSS_AuGS_Licht.pdf

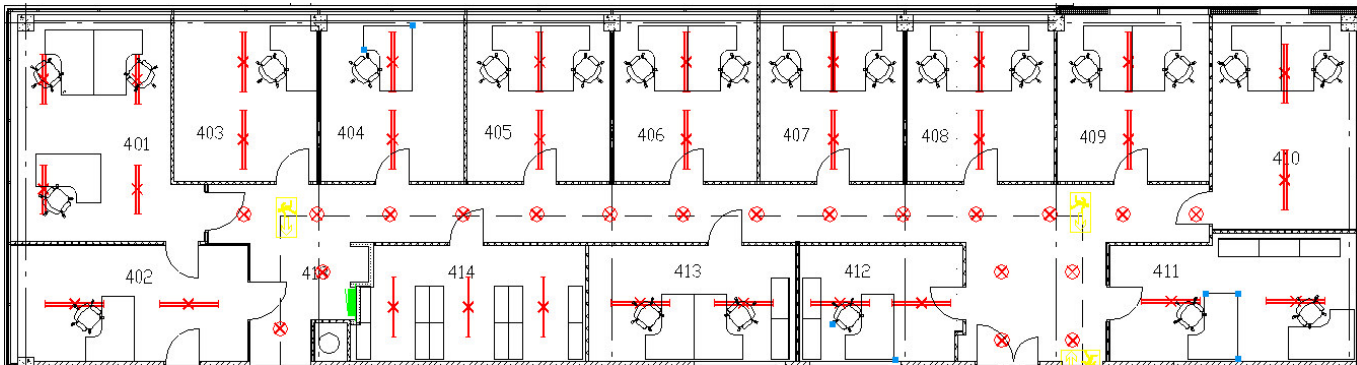
- [68] T. Lehtla. (2014) Energiatõhusus. [Online]. <http://www.riigikogu.ee/public/Riigikogu/MAK/OTRK/esitlus.pdf>
- [69] Dr. W. Feist. Passivhaus Institut. (2010) Leitfaden für energieeffiziente Bildungsgebäude. [Online]. http://www.energieland.hessen.de/mm/Leitfaden_Bildungsgebäude_PHI_06-2012.pdf
- [70] Bine Informationsdienst. Projektinfo 09/2012. (2012) Räume ins richtige Licht rücken. [Online]. http://www.bine.info/fileadmin/content/Presse/Projektinfos_2012/Projekt_09-2012/ProjektInfo_0912_internetx.pdf
- [71] T. Tamm. (2014) Valgustus töökeskkonnas. Tööinspektsiooni töökeskkonnaspetsialistide väljaõppe konspekti väljavõtte.
- [72] Philips GmbH. (2009) Licht macht Schule. [Online]. http://www.lighting.philips.com/pwc_li/main/shared/assets/downloads/licht_macht_schule_0609.pdf
- [73] Ehitusregister. (2014) [Online]. <http://www.ehr.ee/>
- [74] Eesti Standardikeskus. (2014) EVS-EN 15193:2007. Hoonete energiatõhusus. Energianõuded valgustusele. [Online]. <http://www.evs.ee/tooted/evs-en-15193-2007>
- [75] TTÜ. Ergonoomialabor. (2011) Riskianalüüsi protokoll nr. 243. Töötervise riskide hindamine töökohal.

Lisad

- L.1. Küsitlusankeedi vorm (eesti keeles)
- L.2. Koridori 418 3D-esitus leedvalgustitega lahendusel (eesti keeles)
- L.3. Koridori 418 valevärvide esitus leedvalgustitega lahendusel (eesti keeles)
- L.4. Koridori 418 valgustusarvutuste üldkokkuvõtte leedvalgustitega lahendusel (eesti keeles)
- L.5. PANOS infinity L leedvalgusti tehnilised andmed (saksa keeles)
- L.6. Koridori 418 arvutusplaanide valgustusarvutuste tulemused leedvalgustitega lahendusel (eesti keeles)
- L.7. Koridori 418 printeri töötasapinna valgustusarvutused leedvalgustitega variandi korral (eesti keeles)
- L.8. Koridori 418 energiahinnang hetkel kasutusel oleva lahenduse kohta induktiivsete liiteseadistega 24 tunnilisel kasutamisel (eesti keeles)
- L.9. Koridori 418 induktiivsete liiteseadistega energiahinnangu parameetrid 24 tunnilisel kasutamisel (eesti keeles)
- L.10. Koridori 418 energiahinnang hetkel kasutusel oleva lahenduse kohta induktiivsete liiteseadistega 15 tunnilisel kasutamisel (eesti keeles)
- L.11. Koridori 418 energiahinnang leedvalgustitega variandi kohta (eesti keeles)
- L.12. Koridori 418 leedvalgustitega variandi energiahinnangu parameetrid (eesti keeles)

L.1. Küsitlusankeedi vorm (eesti keeles)

1. Palun valige jooniselt Teie tööruum (klõpsates ruumile tuleb sellele märges selle kohta):



2. Teie nimi on:

3. Kas Te istute oma tööruumis plaanil näidatud kohas

Vasakul Paremal Istun ruumis üksi

4. Kas tegelik ruumi sisustus ja valgustite paiknemine vastab joonisele?

Jah Ei

Eitava vastuse korral kirjeldage palun olemasolevat olukorda

5. Kas Te olete rahul oma töökohta valgustuslahendusega

Jah Ei Ei oska öelda

6. Kas Teie arvates on töökoht

Alavalgustatud Optimaalselt valgustatud Ülevalgustatud (liiga ere)

7. Kas sõltuvalt Teie töökohta ja valgustite paiknemisest Teie arvates töökohtal esineb?

7.1. Pimestamist päikese poolt

Jah Ei Ei oska öelda

7.2 Pimestamist valgustite poolt sh valgustite peegeldus laualt jne

Jah Ei Ei oska öelda

7.3 Häirivaid varje töötsoonis selja taga paiknevate valgustite tõttu

Jah Ei Ei oska öelda

8. Kas teie tööruumi valgustus väreleb

Jah Ei Ei oska öelda

9. Kas esinevad muid tegureid, seoses millega te pole oma valgustusega töökohal rahul – kirjeldage neid palun

10. Kas Te kasutate lauavalgustit?

Jah Ei Puudub

10.1 Kas lauavalgusti kasutamisel on laevalgustus üldjuhul ka sisse lülitatud?

Jah Ei

11. Mitu tundi päevas Te kasutate keskmiselt oma tööruumi?

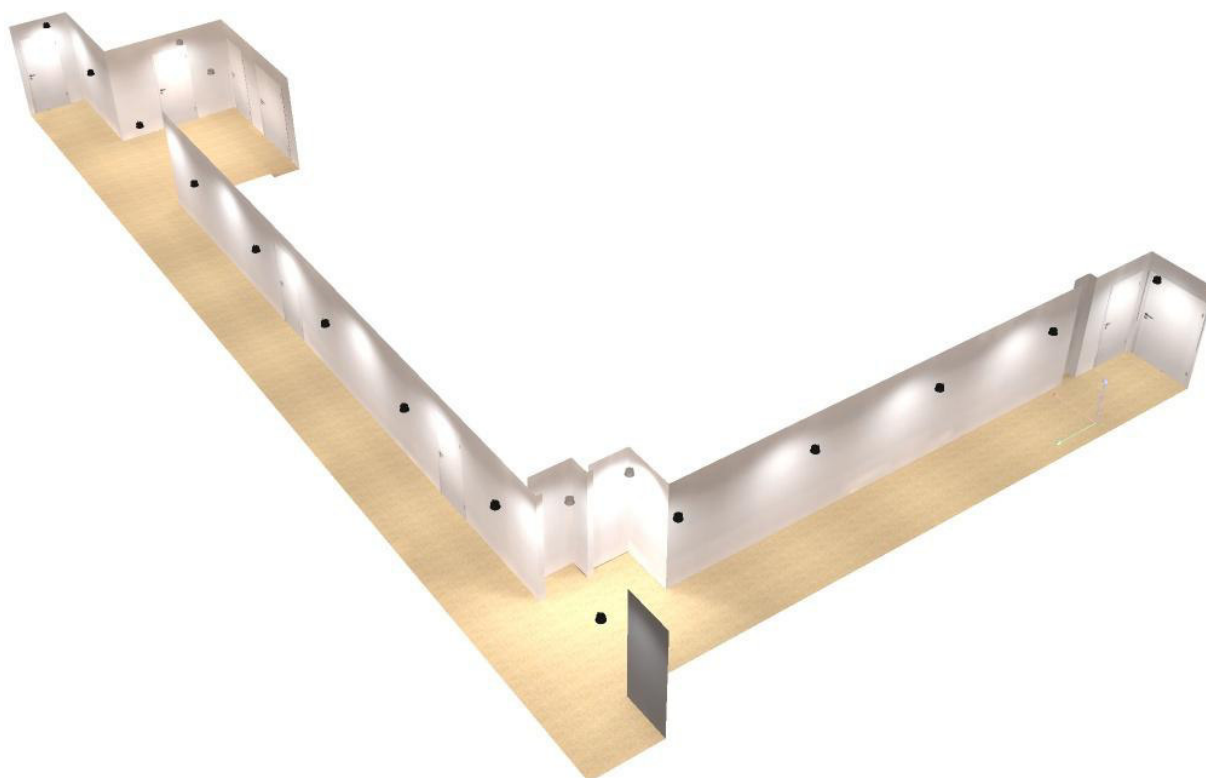
Lisakommentaariid:

L.2. Koridori 418 3D-esitus leedvalgustitega lahendusel (eesti keeles)



Töötaja Sven Levashov
Telefon + 49 157 34030340
Faks
e-post sven.fb@hotmail.com

Koridor_418_Leedvalgusti_Panos Infinity / 3D-esitlus

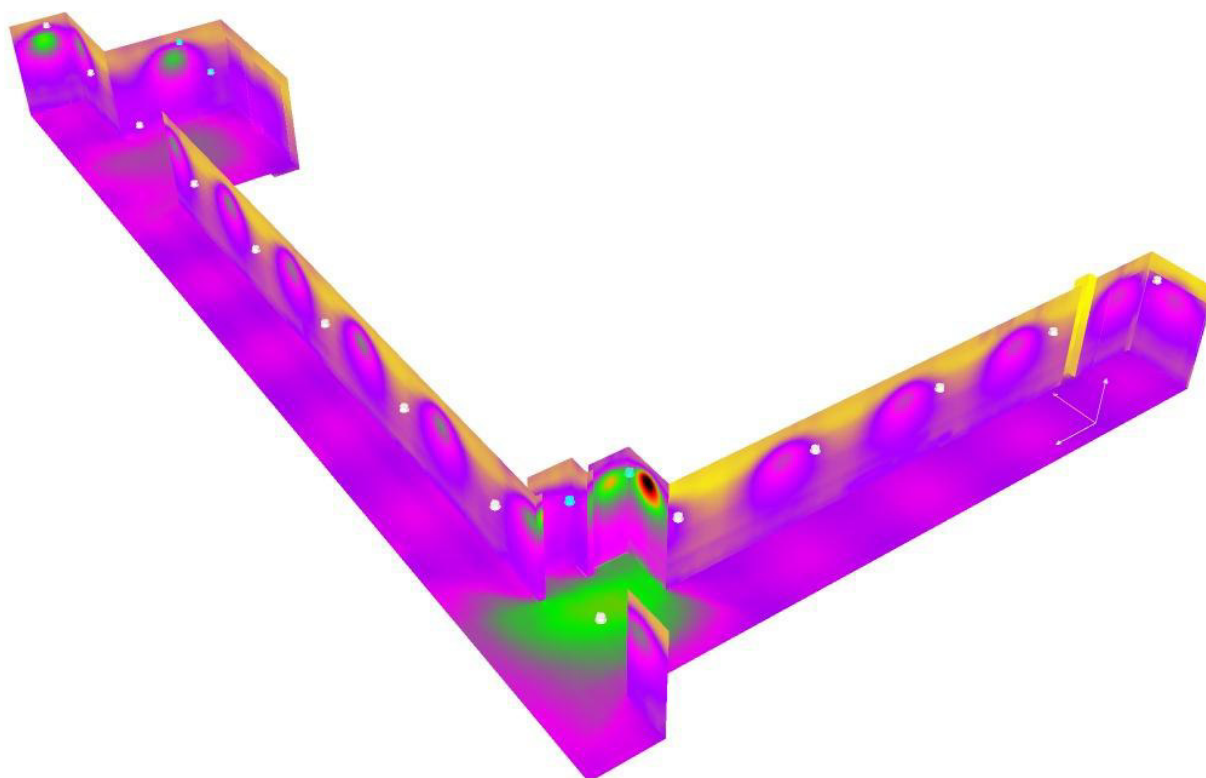


L.3. Koridori 418 valemärvide esitus leedvalgustitega lahendusel (eesti keeles)



Töötaja Sven Levashov
Telefon + 49 157 34030340
Faks
e-post sven.fb@hotmail.com

Koridor_418_Leedvalgusti_Panos Infinity / Valede värvide esitamine

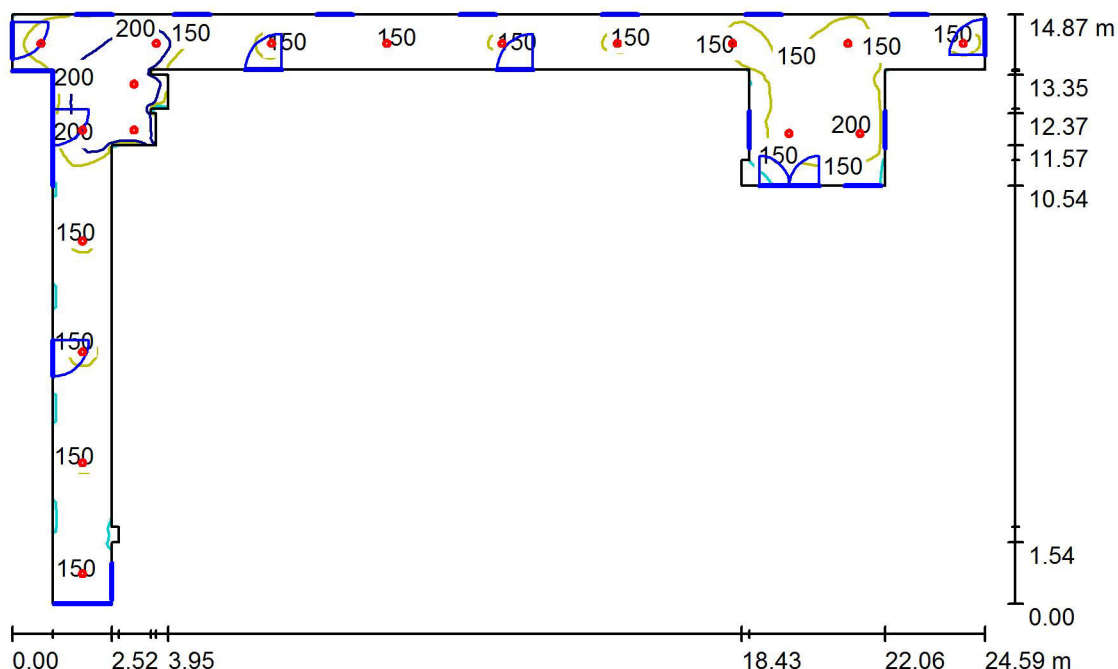


10 20 30 100 150 260 300 400 500 lx

L.4. Koridori 418 valgustusarvutuste üldkokkuvõtte leedvalgustitega lahendusel (eesti keeles)

Töötaja Sven Levashov
 Telefon + 49 157 34030340
 Faks
 e-post sven.fb@hotmail.com

Koridor_418_Leedvalgusti_Panos Infinity / Kokkuvõte



Ruumi kõrgus: 2.400 m

Väärtused Lux, Mõõtkava 1:191

Pind	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Töötasand	/	150	48	299	0.321
Põrand	63	146	55	277	0.377
Lagi	70	61	44	105	0.710
Seinad (26)	50	93	31	547	/

Töötasand:

Kõrgus: 0.200 m
 Raster: 128 x 128 punkti
 Ääretsoon: 0.000 m

Valgustite loetelu

Nr.	Tükki	Tähistus (Parandustegur)	Φ (Valgusti) [lm]	Φ (Lambid) [lm]	P [W]
1	18	Zumtobel 60 812 916 PANOS INF E150LG 16W LED930 LDO WH [STD] (1.000)	1128	1200	16.0
Kokku:			20304	21600	288.0

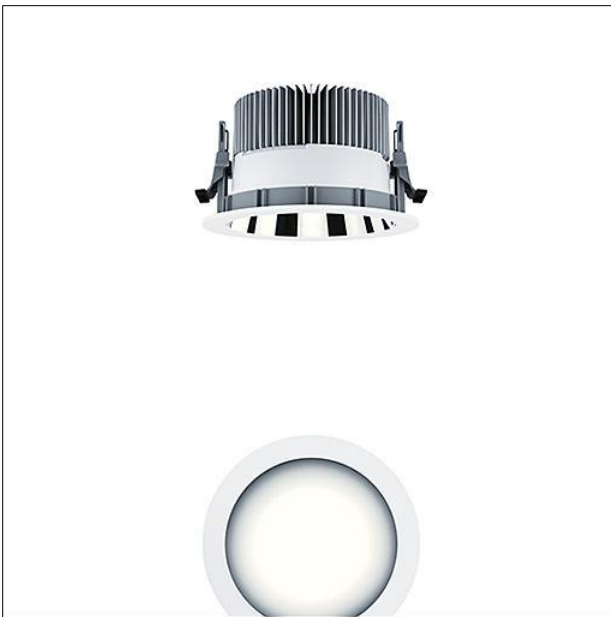
Erivõimsus: $4.28 \text{ W/m}^2 = 2.85 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Põhipind: 67.28 m^2)

L.5. PANOS infinity L leedvalgusti tehnilised andmed

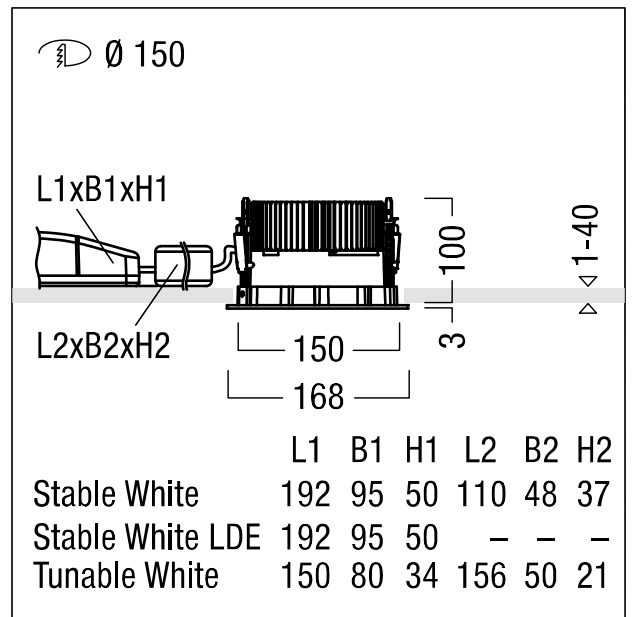
(saksa keeles)

LED Decken-Einbauleuchte

LED Decken-Einbauleuchte (Komplettleuchte); Einsatz bei limitiertem Platz in der Decke: Einbautiefe nur 100mm; LED Leuchte "Stable White", stabilisierte Farbtemperatur; symmetrisch, breitstrahlende Lichtverteilung mit höchster Leuchteneffizienz und optimaler Lichttechnik; Bestückung: 16 W LED930, Farbtemperatur: warmweiß (3000K); Leuchten Gesamtlichtstrom: 1128 lm, Leuchten Lichtausbeute: 71 lm/W; Farbwiedergabe: RA>90; 50.000h Lebensdauer bei 70% Lichtstrom; mit steuerbarem Vorschaltgerät, dimmbar Dali only (separate Einheit); hochwertige Reflektoreinheit über Bajonettverschluss an modulare LED Lichtkammer arretiert; hocheffiziente LED Lichtkammer integriert im optimierten, passiven Wärmemanagement aus Aluminiumstrangpressprofil; harmonischer Übergang zwischen Lichtkammer und Reflektoreinheit; Reflektor: glatt, aluminiumbesputtert, hochglänzend und irisierungsfrei; Reflektor/Abdeckring aus hochwertigem, UV-beständigem Polycarbonat (PC); Abdeckring weiß; Einbauring aus Polycarbonat glasfaserverstärkt (PC), grau; werkzeuglose Schnellmontage der Leuchten-Einheit mittels vereinfachtem Bajonettverschluss; Leuchte halogenfrei verdrahtet; Anschluss: 5-polige Steckverbindungsklemme; Durchgangsverdrahtung möglich; Zentralbatterietauglich 220V DC; Montage: werkzeuglose Schnellmontage mittels Antirutsch Haltefedern für Deckenstärken von 1-40mm; Deckenausschnitt: 150mm, Einbautiefe: 100mm; Gewicht: 1,14 kg; Hinweis: Für Office Anwendungen gemäß EN12464 (UGR<19) ist ein zusätzlicher Entblendungsring separat zu bestellen



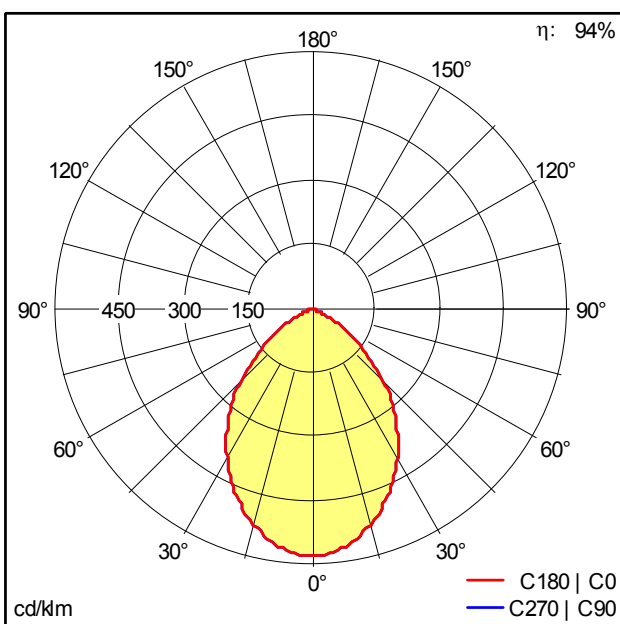
ZS_PAN_F_Infinity_150_LG_Rahmen_www.jpg



ZS_PAN_M_INF_L150_WH_neu.wmf

Lichtverteilung

STD - Standard



ST6410.Idt

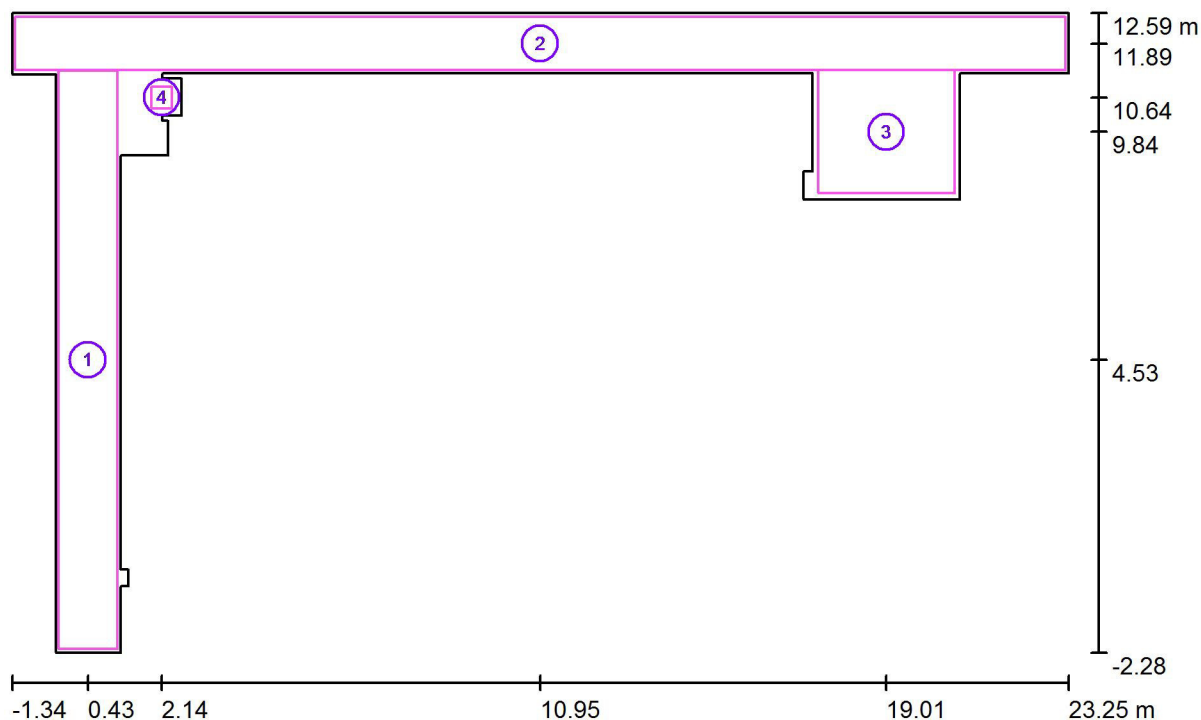
- Lichtverteilung: STD - Standard
- Lampen: 1 x LED_1200_3K / 16W
- Leuchten Gesamtlichtstrom: 1128 lm
- Leuchten Lichtausbeute: 71 lm/W
- Nutzlebensdauer: 50000h L70 bei 25°C
- Farbwiedergabeindex min.: 90
- Farbtemperatur: 3000 Kelvin
- Farborttoleranz (initial MacAdam): 3
- Betriebsgerät: 1 x 06818678 LED CONV PCB 40W LDE PAN INF TCI #V1.36
- Anschlussleistung: 16 W Lambda = 0.97
- Standby Leistung: 0.4 W
- Steuerung: LDO dimmbar bis 5% über DALI
- Wartungskategorie: C - Oben geschlossener Reflektor

Lichtstrom und elektrische Leistungsangabe unterliegen Initial einer Toleranz von bis zu +/- 10%, Farbtemperatur bis zu +/-150 Kelvin vom Nominalwert.

**L.6. Koridori 418 arvutuspindade valgustusarvutuste
tulemused leedvalgustitega lahendusel (eesti
keeles)**

Töötaja Sven Levashov
 Telefon + 49 157 34030340
 Faks
 e-post sven.fb@hotmail.com

Koridor_418_Leedvalgusti_Panos Infinity / Arvutuspinnad (tulemuste ülevaade)



Möötkava 1 : 176

Arvutuspindade loend

Nr.	Tähistus	Tüüp	Raster	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
1	Arvutuspind 1	vertikaalne	128 x 32	146	107	281	0.737	0.382
2	Arvutuspind 2	vertikaalne	128 x 16	146	108	273	0.741	0.396
3	Arvutuspind 3	vertikaalne	64 x 64	167	97	201	0.585	0.485
4	Printeri töötsoon	vertikaalne	8 x 8	317	204	396	0.645	0.517

Tulemuste kokkuvõte

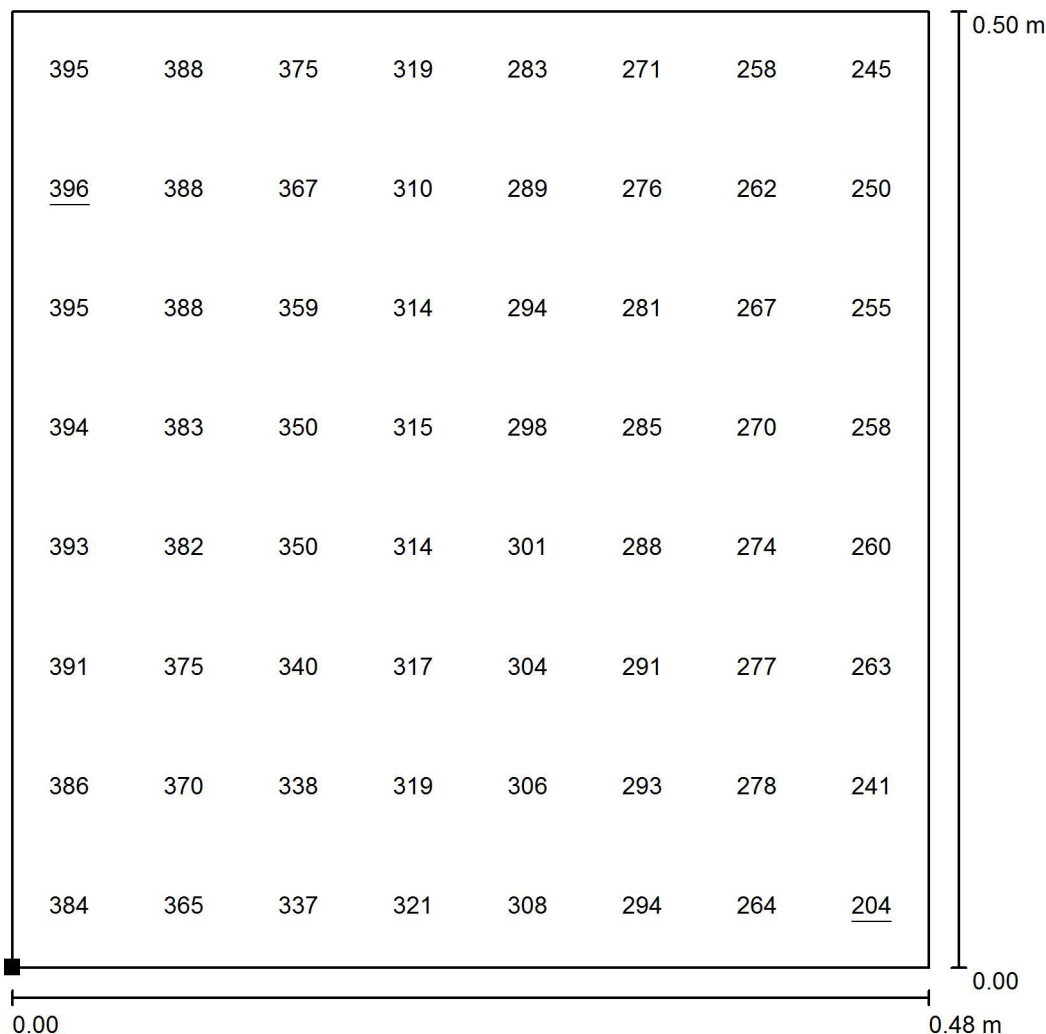
Tüüp	Arv	keskm. [lx]	min [lx]	max [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
vertikaalne	4	150	97	396	0.65	0.25

**L.7. Koridori 418 printeri töötasapinna
valgustusarvutused leedvalgustitega variandi
korral (eesti keeles)**



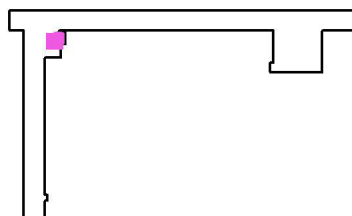
Töötaja Sven Levashov
 Telefon + 49 157 34030340
 Faks
 e-post sven.fb@hotmail.com

Koridor_418_Leedvalgusti_Panos Infinity / Printeri töötsoon / Väärtusgraafik (E, risti)



Väärtused Lux, Mõõtkava 1 : 4

Pinna asukoht ruumis:
 Markeeritud punkt:
 (1.900 m, 10.385 m, 0.850 m)



Raster: 8 x 8 punkti

E_m [lx]
317

E_{min} [lx]
204

E_{max} [lx]
396

E_{min} / E_m
0.645

E_{min} / E_{max}
0.517

**L.8. Koridori 418 energiahinnang hetkel kasutusel
oleva lahenduse kohta induktiivsete liiteseadistega
24 tunnilisel kasutamisel (eesti keeles)**



Töötaja Sven Levashov
Telefon + 49 157 34030340
Faks
e-post sven.fb@hotmail.com

Koridor_418_ind.liiteseadistega_24 h / Kokkuvõte

Energiahinnang vastavalt alljärgnevale normile: EN 15193

Tulemused

Koguenergia Valgustus: 11097.58 kWh/a
LENI: 164.97 kWh/(a · m²)

Koguenergia Nägemisülesanne: 11097.58 kWh/a
Koguenergia Parasitaarne (Kokku): 0.00 kWh/a
Koguenergia Parasitaarne (Standby): 0.00 kWh/a
Koguenergia Parasitaarne (Avariivalgustuse laadimine): 0.00 kWh/a
Kogupindala: 67.27 m²

Seotud projekt: Energiebewertung

Kaasatud energiahinnangu ruumide loetelu:

- Koridor_418_ind.liiteseadistega_24 h (Energiahinnang) (1 x)

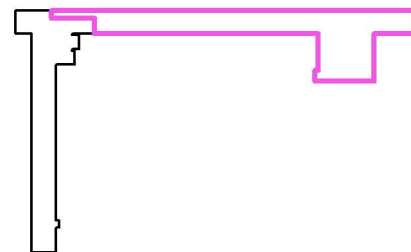
**L.9. Koridori 418 induktiivsete liiteseadistega
energiahinnangu parameetrid 24 tunnisel
kasutamisel (eesti keeles)**

Töötaja Sven Levashov
Telefon + 49 157 34030340
Faks
e-post sven.fb@hotmail.com

Valgustamata ala 2 / Parameetrid

Energiahinnang vastavalt alljärgnevale normile: EN 15193

Seotud projekt: Energiebewertung
Seotud tsoon: Koridor_418_ind.liiteseadistega_24 h
Seotud energiahinnangu ruum:
Koridor_418_ind.liiteseadistega_24 h (Energiahinnang)



Parameetrid	Väärtus
Valgustuse hinnanguline võimsus [W]	780
Jõudluse tarbimine väljalülitatud seisundis [W]	0
Võimsuse tarbimine avariivalgustuse laadimisel [W]	0
Töötunnid päeval ajal [h]	7786
Töötunnid öisel ajal [h]	974
Avariivalgustuse laadimiseks kuluvad töötunnid [h]	8760
Osatöötegur reguleeritud konstantse valgustugevuse jaoks	1.00
Konstantne valgustugevus reguleeritav	/
Säilivustegur	0.80
Osatöötegur kohaloleku arvestamiseks	1.00
Äraoleku faktor	0.00
Kohalolekukontrolli tõhususe tegur	0.90
Päevalvalguse allikas	/

**L.10. Koridori 418 energiahinnang hetkel kasutusel
oleva lahenduse kohta induktiivsete liiteseadistega
15 tunnisel kasutamisel (eesti keeles)**



Töötaja Sven Levashov
Telefon + 49 157 34030340
Faks
e-post sven.fb@hotmail.com

Koridor_418_ind.liiteseadistega_7_22 / Kokkuvõte

Energiahinnang vastavalt alljärgnevale normile: EN 15193

Tulemused

Koguenergia Valgustus: 4940.74 kWh/a
LENI: 73.45 kWh/(a · m²)

Koguenergia Nägemisülesanne: 4940.74 kWh/a
Koguenergia Parasitaarne (Kokku): 0.00 kWh/a
Koguenergia Parasitaarne (Standby): 0.00 kWh/a
Koguenergia Parasitaarne (Avariivalgustuse laadimine): 0.00 kWh/a
Kogupindala: 67.27 m²

Seotud projekt: Energiebewertung

Kaasatud energiahinnangu ruumide loetelu:

- Koridor_418_ind.liiteseadistega_7_22 (Energiahinnang) (1 x)

L.11. Koridori 418 energiahinnang leedvalgustitega variandi kohta (eesti keeles)



Töötaja Sven Levashov
Telefon + 49 157 34030340
Faks
e-post sven.fb@hotmail.com

Koridor_418_Leedvalgusti_Panos Infinity / Kokkuvõte

Energiahinnang vastavalt alljärgnevale normile: EN 15193

Tulemused

Koguenergia Valgustus: 713.89 kWh/a
LENI: 10.61 kWh/(a · m²)

Koguenergia Nägemisülesanne: 665.29 kWh/a
Koguenergia Parasitaarne (Kokku): 48.60 kWh/a
Koguenergia Parasitaarne (Standby): 48.60 kWh/a
Koguenergia Parasitaarne (Avariivalgustuse laadimine): 0.00 kWh/a
Kogupindala: 67.27 m²

Seotud projekt: Energiebewertung

Kaasatud energiahinnangu ruumide loetelu:

- Koridor_418_Leedvalgusti_Panos Infinity (Energiahinnang) (1 x)

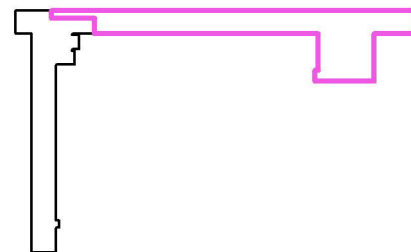
L.12. Koridori 418 leedvalgustitega variandi energiahinnangu parameetrid (eesti keeles)

Töötaja Sven Levashov
 Telefon + 49 157 34030340
 Faks
 e-post sven.fb@hotmail.com

Valgustamata ala 2 / Parameetrid

Energiahinnang vastavalt alljärgnevale normile: EN 15193

Seotud projekt: Energiebewertung
 Seotud tsoon: Koridor_418_Leedvalgusti_Panos Infinity
 Seotud energiahinnangu ruum:
 Koridor_418_Leedvalgusti_Panos Infinity (Energiahinnang)



Parameetrid	Väärtus
Valgustuse hinnanguline võimsus [W]	144
Jõudluse tarbimine väljalülitatud seisundis [W]	5
Jõudluse tarbimine väljalülitatud seisundis [W] (Arvutatud väärtus)	0
Võimsuse tarbimine avariivalgustuse laadimisel [W]	0
Töötunnid päeval ajal [h]	3466
Töötunnid öisel ajal [h]	434
Avariivalgustuse laadimiseks kuluvad töötunnid [h]	8760
Osatõotegur reguleeritud konstantse valgustugevuse jaoks	0.85
Konstantne valgustugevus reguleeritav	Olemasolev
Säilivustegur	0.71
Osatõotegur kohaloleku arvestamiseks	0.75
Äraoleku faktor	0.40
Kohalolekukontrolli tõhususe tegur	0.95
Päevalvalguse allikas	/