



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Virumaa kolledž

**BIRGER TEHASE VALGUSTUSTIHEDUSE
REKONSTRUEERIMISVÕIMALUSE ANALÜÜSIMINE**

**Analyzing the reconstruction possibility of the illuminance of the
Birger factory**

MASINAEHITUS- JA ENERGIATEHNOLOOGIA PROTSESSIDE JUHTIMINE
ÕPPEKAVA LÕPUTÖÖ

Üliõpilane: Ruslan Ševtšuk

Üliõpilaskood: 193185EDJR

Juhendaja: Veronika Shirokova,
vanemlektor

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneriplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

LIHTLITSENTS LÕPUTÖÖ ÜLDSUSELE KÄTTESAADAVAKS TEGEMISEKS JA REPRODUTSEERIMISEKS¹

Mina Ruslan Ševtšuk (sünnikuupäev: 30.09.1983)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Birger tehase valgustustiheduse rekonstrueerimisvõimaluse analüüsimine, mille juhendaja on Veroonika Shirokova,
 - 1.1. reprodutseerimiseks säilitamise ja elektroonilise avaldamise eesmärgil, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
 - 1.2. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. Olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta kolmandate isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ja teistest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

¹ Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingulise tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautori(d) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

SISUKORD

EESSÕNA	5
LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU.....	6
SISSEJUHATUS	7
1. VALGUSTUS TÖÖKESKKONNAS	9
1.1 VALGUSTUS JA RISKED TEHASES.....	9
1.2 VALGUSTUSSÜSTEEMI HOOLDAMINE.....	11
2. VALGUSTUSE NORMDOKUMENTATSIOON	12
3. OLEMASOLEVA VALGUSTUS SÜSTEEMI ANALÜÜS	14
4. VALGUSTUS SÜSTEEMI REKONSTRUEERIMISVÕIMALUS	18
4.1 MAJANDUSLIK KASU	23
KOKKUVÕTE	25
SUMMARY.....	26
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	27
LISA 1 VALGUSTI PARAMEETRID	28

EESSÕNA

Antud lõputöö teema idee tuli Birgeri ettevõtte juhatuse poolt. Tekkis vajadus valgustuse kontrollimiseks selleks, et töötingimused vastaksid nii tööohutusnõuetele, standardile, kui ka elektrihinna tõusule, mistõttu ettevõtte palus teha pakkumise olemasoleva süsteemi rekonstrueerimiseks. Lõpptulemuseks on tõhus valgustussüsteem, mis vastab tänapäeva nõuetele.

Töö autor soovib tänada ettevõtte juhtkonda ja oma juhendajat Veronika Shirokova diplomitöö juhendamise ja motiveerimise eest.

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

LED	valgust kiirgav diood (ingl k <i>Light-Emitting Diode</i>)
Lm	luumen, valgusvoo mõõtühik SI-süsteemis
Lx	luks, valgustustiheduse ühik SI-süsteemis
W	vatt, võimsuse mõõtühik SI-süsteemis

SISSEJUHATUS

Kasvavad elektri hinnad sunnivad tööstuslikke ettevõtteid oma valgustussüsteeme optimeerima. Valgustus võib moodustada kuni 40% kogu ettevõttes tarbitavast elektrist. Ebaefektiivsed valgustussüsteemid, eriti suurte lagedega ruumides, näiteks töökodades ja ladudes, kus lampide hooldamine on raskendatud, toovad kaasa märkimisväärse kulude suurenemise. [1-2]

Nõuetekohane lampide hooldamine, näiteks regulaarne puhastamine, on vajalik, et vältida tolmu kogunemist, mis vähendab valgustust ja suurendab õnnetuste riski. Valgustussüsteemi normidele mittevastavus võib põhjustada töötajate vigu, toodete defekte, töötajate tervise halvenemist ja vigastuste arvu suurenemist. [3]

Käesoleva töö eesmärk on analüüsida ja hinnata Birgeri töökoda valgustussüsteemi vastavust kaasaegsetele normidele ja nõuetele.

Uuringu käigus lahendatakse järgmised ülesanded:

- Valgustuse mõõtmine Birgeri töökoda töökohtades
- Saadud tulemuste võrdlemine kehtivate normidega
- Olemasoleva valgustussüsteemi energiatõhususe hindamine
- Valgustussüsteemi rekonstrueerimise kava väljatöötamine eesmärgiga tõsta selle efektiivsust ja vähendada energiatarbimist

Töös kasutatakse valgustuse mõõtmist, energiatarbimise analüüsi, valgustussüsteemide modelleerimist ja projekteerimise meetodeid.

Oodatakse, et uuringu tulemusena töötatakse välja Birgeri töökoda valgustussüsteemi rekonstrueerimise kava, mis võimaldab:

- Vähendada elektriarveid
- Tõsta valgustus tasemele, mis vastab normidele
- Parandada töötajate töötingimusi

Töö esimeses peatükis käsitletakse valgustuse olulisust töökeskkonnas, eriti metallitööstuses. Tähtsustatakse optimaalse valgustuse mõju töötajate heaolule, tootlikkusele ja ohutusele. rõhutatakse vajadust investeerida kvaliteetsesse valgustussüsteemi ning tagada selle regulaarne hooldus ja kohandamine vastavalt vajadusele.

Töö teises peatükis käsitletakse sisevalgustuse standardit EVS-EN 12464-1:2021, mis määrab nõuded valgustuslahendustele erinevates töökeskkondades. Keskendutakse metallitöötlemisele, tuues välja erinevate tööde jaoks vajaliku valgustustiheduse (lx).

Lisaks käsitletakse standardis arvestatavaid näitajaid nagu heleduse jaotus, järsus, valguse suund, värviedastus, virvendus ning nende mõju nägemisele ja töö efektiivsusele.

Töö kolmandas peatükis käsitletakse valgustustiheduse mõõtmist ja valgustussüsteemi rekonstrueerimist metalltööstusettevõttes. Kirjeldatakse mõõtmise ettevalmistamist, sealhulgas ruumi mõõtmete ja otstarbe kindlakstegemist ning valgustuspaigaldise üldseisundi hindamist. Selgitatakse valgustustiheduse mõõtmise etappe, kasutades luksmeetrit, ning tulemuste protokollimist.

Töö viimases peatükis käsitletakse metalltööstusettevõtte valgustussüsteemi rekonstrueerimist. Kirjeldatakse, kuidas DIALux tarkvara abil simuleeriti valgustuse paigutust ja arvutati vajalik valgustite arv. Seejärel analüüsitakse simulatsiooni tulemusi, võrreldes neid valgustuse standarditega. Lõpuks esitatakse majanduslik analüüs, mis näitab, et uus valgustussüsteem on oluliselt energiasäästlikum ja toob ettevõttele märkimisväärset rahalist kokkuhoidu.

Võtmesõnad: Valgustustihedus, Birger, standart, elektri hind, rekonstrueerimine, bakarauseusetöö

1. VALGUSTUS TÖÖKESKKONNAS

Töökoha valgustus on üks peamisi tegureid, mis mõjutab töötajate tööviljakust, tervist ja ohutust. Ebapiisav või liigne valgustus võib põhjustada silmade väsimust, keskendumisvõime langust, vigu ja õnnetusi.

Esiteks on valgustusega seotud meie organismi töö ja selle reaktsioon valgusele. Loodus on inimesesse pannud ööpäevarütmi, mis reguleerib kõiki organismi elutähtsaid protsesse. Kui tootmiskohas paigaldatakse valgustid, mille valguse temperatuur on alla 3000 K, mis tähendab sooja valgust, on inimesel raskem tööl keskenduda ja võib tekkida unisus. Umbes 3000 K temperatuuriga valgusel kollane varjund ja pehmem ning soojem iseloom, mis teeb selle kodustes tingimustes sobivaks, kus hubasus ja mugavus on olulised aspektid. Töökohal on aga vaja tagada erksam ja energilisem valgustus, mis aitab kaasa aktiivsuse ja keskendumisvõime tõusule. Seetõttu kasutatakse töökohal tavaliselt kõrgema temperatuuriga valgust, mis on neutraalsem või päevavalgus, temperatuuriga umbes 4000–5000 K, mis loob erkama ja virgutava efekti ning aitab parandada tööviljakust ja keskendumisvõimet tööaja jooksul. [4]

Teiseks on oluline optimaalne valgustustase, mis peaks igal kindlal kohal olema piisavalt kõrge (tase kehtestatakse iga töö jaoks eraldi standardiga), et tagada mugav nägemine, aga see ei tohiks olla liiga kõrge, et vältida pimestamist ja silmade väsimust. Väsimus ja pimestamine võivad märkimisväärselt suurendada õnnetuste riski ja tõenäosust tootmiskohas. Arvestades, et valitud ettevõtte tegeleb metal töötlemisega, on valgustustase just see parameeter, millele tuleks erilist tähelepanu pöörata rekonstrueerimiskava koostamisel. [5]

Töökoha valgustuse normide ja nõuete järgimine võimaldab:

- Tõsta tööviljakust.
- Vähendada silmade väsimust.
- Parandada keskendumisvõimet.
- Vähendada vigade arvu.
- Suurendada tööohutust.

1.1 Valgustus ja riskid tehases

Birgeri ettevõtte töökojas on metalli töötlemiseks paigaldatud pingid, mis suudavad lõigata, painutada ja pindu töödelda. Seetõttu viidi läbi riskianalüüs, mis on seotud valgustuse halvenemisega. [6]

Võimalikud riskid:

- Silmade väsimus

Ebapiisav valgustus või liiga ere valgustus võib põhjustada silmade väsimust ja pinget. See võib viia keskendumisvõime ja töötajate töö efektiivsuse languseni.

- Vead töös

Ebapiisav valgustus võib viia selle kuni, et töötajad teevad oma ülesandeid täites rohkem vigu. See võib olla eriti ohtlik mehhanismide või seadmete kasutamisel, kus väike viga võib kaasa tuua tõsiseid tagajärgi.

- Meeleolu ja motivatsiooni langus

Ebapiisav valgustus võib töötajates tekitada depressiooni, apaatiat ja motivatsiooni langust. See võib viia tootlikkuse vähenemiseni ja vigade arvu suurenemiseni.

- Töö ebamugavus

Kui ruum on ebapiisavalt valgustatud, võivad töötajatel tekkida raskusi dokumentide lugemise või kirjutamisega, mis võib samuti viia vigade ja töö efektiivsuse languseni.

- Töötajate tervis

Ruumide valgustus võib mõjutada ka töötajate tervist. Ebapiisav valgustus võib põhjustada peavalu, väsimust ja stressi, samas kui liiga ere valgustus võib viia nägemisprobleemideni ja peavalu.

- Tootlikkus

Hea valgustus ruumis võib töötajate tootlikkust tõsta, kiirendada ülesannete täitmist ja vähendada vigade arvu. See võib olla eriti oluline tingimustes, kus iga tööminut on oluline.

- Ohutus

Ruumide valgustus on töökeskkonnas oluline ohutustegur. Ebapiisav valgustus võib viia ootamatute ohtudeni, nagu libedad pinnad, teravad esemed ja muud ohud.

Kõiki neid riske saab vähendada hea valgustuse tagamisega töökojas. Selleks on vaja regulaarselt hooldada valgustid. Puhastada ja vahetada lambid, et tagada optimaalne valgustus. Kontrollida valgustatust vastavalt normidele ja veenduda, et valgustustase ikka vastab töökeskkonnale kehtestatud normidele. Valida valgustid, mis sobivad töökoja spetsiifilistele vajadustele.

Hea valgustus aitab töötajatel oma tööd paremini näha, mis võimaldab neil töötada efektiivsemalt ja täpsemalt. See vähendab vigade arvu ja tõstab tootlikkust. Hea valgustus aitab töötajatel näha võimalikke ohte ja ennetada tööga seotud vigastusi. Sobiv valgustus aitab ka vähendada energiakulusid ning lühendada seadmete hooldus-

ja remondikulused. Kvaliteetse valgustuse abil on võimalik riske vähendada ja kulusid langetada seoses tervise halvenemisega, näiteks tervisekontrollid, esmaabivahendid jne. [7]

1.2 Valgustussüsteemi hooldamine

Valgusti vahetamine või hooldamine võib tunduda lihtne protseduur, aga ka siin on vaja arvestada riskidega, mis võivad tekkida töötamisel elektrilise seadmega. Samuti tuleb arvestada töökoja lagede kõrgusega, ilma korraliku ettevalmistuse ja seadmeteta on valgustid kättesaamatud. [8]

Kõigepealt enne valgusti hooldust või vahetamist tuleb kaardistada valgustite asukohti ja kirjutada täpsemat juhendi kuidas saab tööd teostada.

Teiseks, tuleb veenduda, et kogu süsteem on vooluvõrgust välja lülitatud, et vältida elektrilööki.

Kolmandaks, suure lagede kõrguse tõttu on kukkumisoht. Ohutusvarustuse kandmine ja eelkontroll on kohustuslik.

Neljandaks, lampide sisselülitamisel lähedalt võib ere valgus silmadele kahjulik olla.

2. VALGUSTUSE NORMDOKUMENTATSIOON

Uute hoonete ehitamisel või vanade rekonstrueerimisel ja valgustuse paigaldamisel kasutatakse sisevalgustuse standardit EVS-EN 12464-1:2021 RLV. See standard määrab nõuded valgustuslahendustele ning annab juhiseid nende süsteemide projekteerimiseks, et inimesed saaksid efektiivselt ja täpselt täita visuaalseid ülesandeid, sealhulgas ülesandeid, mida täidetakse pikka aega või korduvalt. [9]

Nõuded valgustusele vastavalt standardile:

Nägemisvõime ja vaatekomfort sõltub paljudes töökohtades töö tüübist ja kestusest. Seetõttu on standardis esitatud tabelid erinevate ruumide ja ülesannete jaoks eraldi. Metallitöötlemise ruumide jaoks on eraldi tabel (vt Tabel 2.1), milles on toodud valgustus erinevate toimingute jaoks, näiteks:

- Keevitamine – 300 lx,
- Vormse pistamine – 300 lx,
- Märkimine ja kontroll – 750 lx

Tabel 2.1. Tööstus- ja tööndustegevus. Metallitöötlus

Töö- või tegevuspiirkonna liik	Valgustus (lx)
Vabase pistamine	200
Vormse pistamine	300
Keevitamine	3000
Jämedad ja keskmised masinatööd	300
Täppis-masinatööd, lihvimine	500
Märkimine, kontroll	750
Traadi- ja torutõmbamine, küldvormimine	300
Lehtmetsalli masintöötlemine paksusel 5mm ja enam	200
Lehtmetsalli masintöötlemine paksusel alla 5mm	300
Töö- ja lõike riistade valmistamine	750
Koostetööd	
-Jämedad	200

Lisaks valgustusele arvestab standard ka järgmisi näitajaid:

- Heledustaseme jaotus - mõjutab nägemist. Vajalik heleduse tase parandab nägemisteravust. Liiga suur heleduse tase suurendab järsust. Heleduse tasakaalustamiseks tuleb arvestada ka kõigi pindade heledusega;

- Järsus - võib tekitada ebamugava tunde, mida põhjustavad valgustatud pinnad või valgusti osad. Pimestamise vältimiseks on vaja piirata pimestamist, reguleerides valgusti kaitse nurka;
- Valguse suund - valguse vale suuna korral võib valgustus muutuda ja tööpind jääb ebapiisavalt valgustatuks;
- Valguse värviedastus ja nähtav värvus - efektiivsuse maksimeerimiseks peaks värvus olema võimalikult lähedane esteetilisele värvusele, st vahemikus 3300 K kuni 5300 K;
- Virvendus: Ajutine nähtus, mis võib vähendada nägemismugavust ja töövõimet.

3. OLEMASOLEVA VALGUSTUS SÜSTEEMI ANALÜÜS

Enne valgustuspaigaldise mõõtmisele asumist tuleb kindlaks teha:

Ruumi mõõdud (vt Joonis 3.1):

- Kokku 6 ruumi – 2075 m²

Ruumi otstarve ja selles tehtava töö liik:

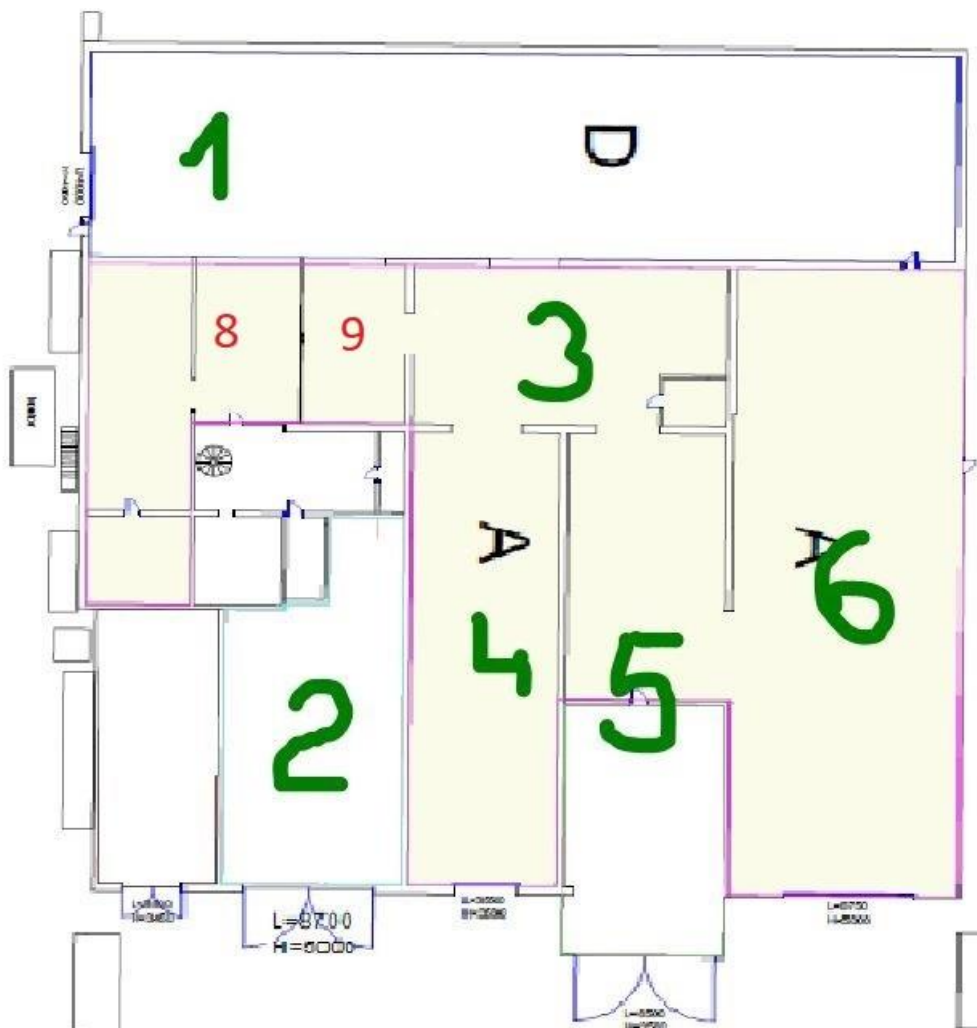
- Metallitöötlus

Valgustuspaigaldise kohta tuleb kindlaks teha:

- valgustite paigutus;
- olemasolev süsteem on paigaldatud lakke.

Lampide liik (tootja, tüüp, nimivõimsus ja nimivalgusvoog):

- Antud juhul teadmata.



Joonis 3.1 Mõõdetavate ruumide asukohad

Valgustuspaigaldise üldseisund, sealhulgas viimase puhastuse ja lampide viimase vahetamise aeg, lampide ja valgustite mustumise hinnang:

- seisund – paha, viimane puhastus oli tehtud ammu;
- varem sooritatud mõõtmiste protokollide olemasolu.

Ruumide valgustuse mõõtmiseks kasutatakse valgusmõõteriid nimega luksmeeter. Luksmeeter on seade, mis mõõdab valgustuse taset pinnal luksides (lx).

Ruumide valgustuse mõõtmise etapid:

1. Valgustustihedusmõõtuuri ettevalmistamine – lülitada seade sisse ja õigesti valida mõõteulatust;
2. Mõõteriista paigutamine tööpinnale - valgustustihedusmõõtur peaks olema paigutatud tööpinna kõrgusele ja seina kaugusel, mis on võrdne poolega lageduse kõrgusest;
3. Valgustuse mõõtmine - liigutada valgustustihedusmõõtur ruumi erinevatesse punktidesse ja mõõta valgustuse taset igas punktis. Täpsemate andmete saamiseks on vaja mõõta mitmes punktis;
4. Mõõtmistulemuste protokollimine - pärast valgustuse mõõtmist kanda saadud andmed protokollile, märkides mõõtmise kuupäeva ja kellaaja, mõõtmise koha, valgustite andmed ja nende parameetrid (vt Tabel 3.1).

Tabel 3.1 Valgustustiheduse protokoll

Valgustustiheduse mõõtmine lx.										
Mõõtmised teostati valgustustihedusmõõturiga AMPROBE LM-120, number 14081607										
Ruumi nr., nimetus ja pind (m ²)										
30-1, Koridor, 81.4 m ²										
Punkt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Näit	78	65	98	56	77	86	94	101	87	98
Keskmine väärtus	67.2									

Protokollis (vt Tabel 3.1) on märgitud mõõteriista nimetus, mõõte asukoht, pindala, punktide arv, keskmine valgustustiheduse väärtus.

Pärast ruumide valgustuse mõõtmist ja saadud andmete analüüsimist on võimalik kindlaks teha, kas valgustuse tase vastab antud tüüpi ruumile kehtestatud normidele. Kui valgustuse tase on madalam normväärtusest, tuleks võtta meetmeid valgustuse parandamiseks, näiteks:

- Vahetada valgusteid
- Lisada täiendavaid valgusteid juurde
- Muuta valgustite paigutust

- Hooldada olemasolevaid valgusteid



Joonis 3.2 Tehase valgustussüsteem

Esmasel visuaalsel kontrollil leiti, et olemasolev valgustussüsteem on üsna vana ja halvasti hooldatud. Sellel võivad olla mitmed põhjused, näiteks: metallitöötlemise protsess tekitab tolmu, mis settib valgustite korpustele, mis nõuab sagedasemat hooldust. Lagede kõrgus nõuab hooldustöödeks spetsiaalset tehnikat. (vt Joonis 3.2).



Joonis 3.3 Valgustustiheduse mõõtmine

Järgnevalt mõõdeti valgustusruume valgustustihedusmõõturiga AMPROBE LM-120 (vt Joonis 3.3). Mõõtmised näitasid, et valgustus ei vasta standardis kehtestatud

väärtustele. Seetõttu analüüsiti võimalust rekonstrueerida valgustusruume, asendades olemasolevad valgustid uute, kõrgtehnoloogiliste ja energiasäästlike LED-valgustitega. Selleks tehti esmalt valgustuse simulatsioon DIALuxi tarkvaras. Simulatsioonitulemuste põhjal valitakse sobivad LED-valgustid ja koostatakse detailne valgustusprojekt. Seejärel viiakse läbi valgustite paigaldus ja valgustuse reguleerimine vastavalt projektile. Lõpuks mõõdetakse uuesti valgustustase ja võrreldakse seda standarditega.

4. VALGUSTUS SÜSTEEMI REKONSTRUEERIMISVÕIMALUS

Kokku on rekonstrueerimist vajavad 6 järgmist pindalat (vt Joonis 4.1):

Pind 1 - Keevitamine (675 m²)

Pind 2 - Toodete kuivatamine (183,38 m²)

Pind 3 - Treipingid (162,69 m²)

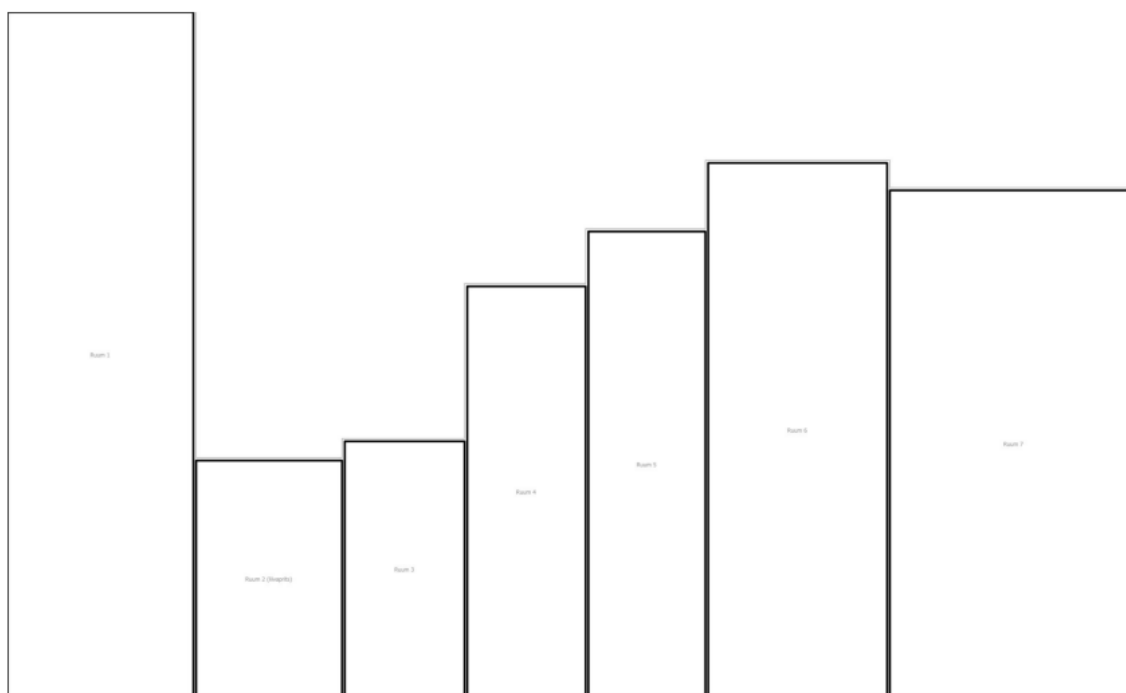
Pind 4 - Ladu (258 m²)

Pind 5 - Detailide ettevalmistamine robotiga (289 m²)

Pind 6 - Painutuspingid (507 m²)

Hoone 1 · Korrus 1 (Valgustusseen 1)

Ruumide loetelud



Joonis 4.1 Pindala DIALux tarkvaras

Järgmisena oli kasutatud DIALux tarkvara andmete analüüsimiseks ja simuleerimiseks. DIALux on valgustusdisaini tarkvara, mida kasutatakse laialdaselt nii sise- kui ka välisvalgustuse projekteerimiseks. See on võimas tööriist, mis võimaldab valgustusspetsialistidel, inseneridel, arhitektidel ja disaineritel luua tõhusaid, esteetilisi ja standarditele vastavaid valgustuslahendusi. Tarkvara põhifunktsioonide hulka kuuluvad täpsed valgustuse arvutused, realistlik 3D visualiseerimine, energiatõhususe analüüs, valgustite valik, päevavalguse arvestamine ja erinevate

valgustusstenaariumide loomine. Tarkvara tuleb kahes versioonis – tasuta ja tasuline. Antud töö teostamiseks oli kasutatud tasuta DIALux versioon (<https://www.dialux.com>) Edaspidi olid sisestatud valgustite andmed, et valgustussüsteem saaks arvutada valgustustaset.

Andmed, mida tuleb sisestada, on järgmised (vt joonis 4.2):

- tarbimisvõimsus (valgusti tarbitava elektrienergia kogus vattides);
- valgusvoog (valgusti emiteeritava valguse kogus luumenites);
- valgusti nimi (täpne mudeli nimi ja tootja).

Need andmed on vajalikud valgustussüsteemile, et arvutada iga valgusti panust valgustustasemesse ja leida optimaalne valgustite paigutus. Valgustite andmeid saab leida tootja veebilehelt, valgusti kasutusjuhendist või valgusti pakendi etiketilt. Samuti on olemas veebipõhised andmebaasid, mis sisaldavad teavet erinevate valgustite kohta.

Tootja	Artikli nr.	Artikli nimi	P	Φ	Valgusviljakus
Ei ole veel DIALux-i liige		LX-FL100RECHPS-4KD90	100.8 W	15354 lm	152.3 lm/W
Ei ole veel DIALux-i liige		LX-HB150CE2HPS4KD120	151.0 W	22316 lm	147.8 lm/W

Joonis 4.2 Valgustite loetelu DIALux tarkvaras

Käesoleva ettevõtte valgustite valimisel analüüsiti mitmeid parameetreid:

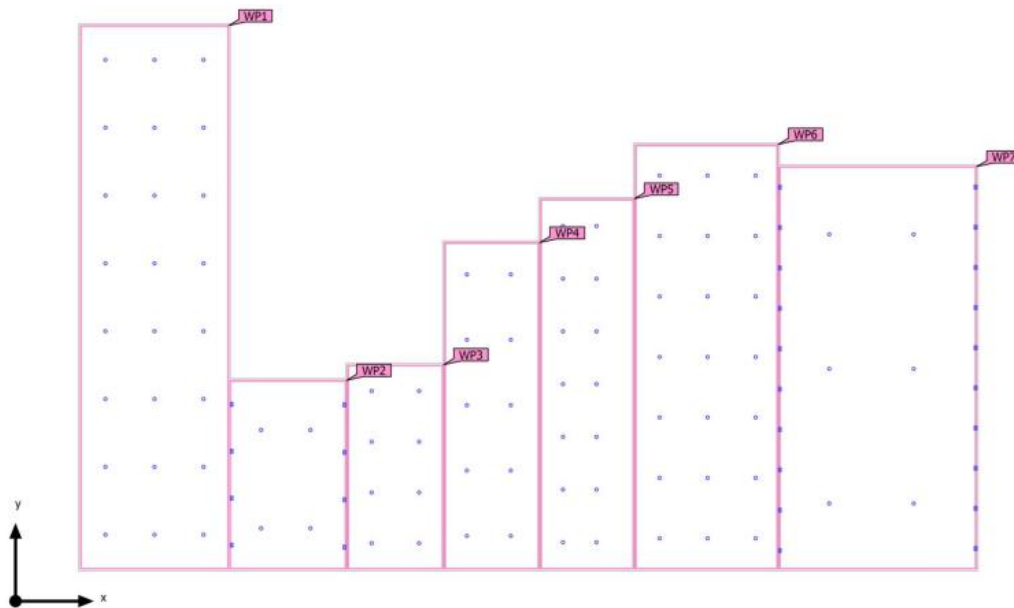
- Valgustus: Valgustite valik toimus vastavalt kehtivale standardile;
- Värvitemperatuur: Optimaalne värvitemperatuur valiti vastavalt töö iseloomule;
- Energiaefektiivsus: Valgustite valikul arvestati energia säästmisega.

Nõutav valgustustase ruumide kaupa:

- Ruumid 1, 4, 5, 6 ja 7: 300 lx ja rohkem;
- Ruumid 2 ja 3: 200 lx ja rohkem.

Valgustite värvitemperatuuriks valiti 4000K, mis vastab neutraalsele värvile. See värvitemperatuur tagab töötajatele efektiivse ja ohutu töökeskkonna.

Elektrikulu vähendamiseks valiti LED-valgustid (LISA 1), millel on hämardamise funktsioon, 50 000-tunnine tööiga ja madal energiatarbimine.



Joonis 4.3 Punktide asukohad valgustustiheduse simuleerimiseks

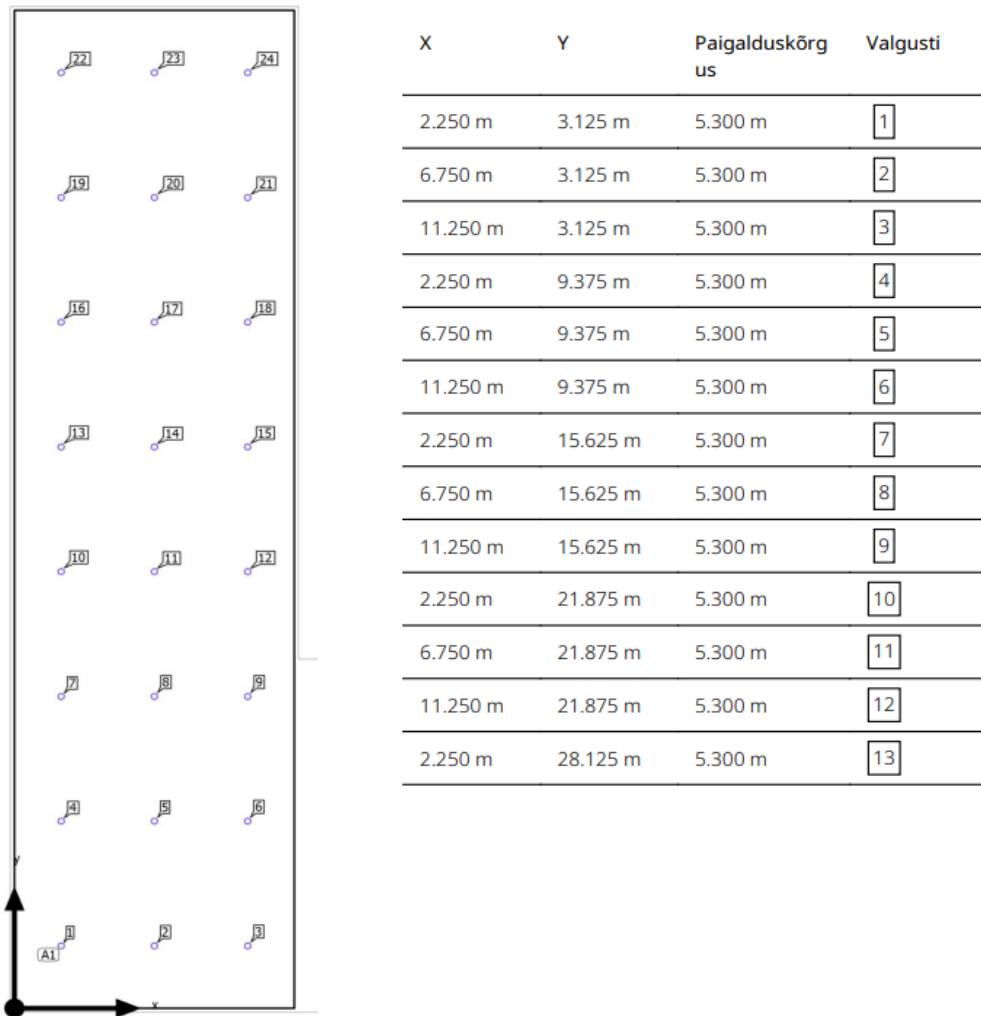
Valitud valgustite abil saavutatakse:

- Hea valgustustase, mis tagab töötajate heaolu ja tööohutuse
- Parem tööviljakus ja toote kvaliteet
- Madalamad energiakulud
- Pikaajaline valgustite tööiga

Valgustite valimisel arvestati kõiki olulisi parameetreid, et tagada käesolevale ettevõttele hea valgustuslahendus. Valitud valgustid on energiasäästlikud, pikaajalised ja pakuvad töötajatele mugavat ja ohutut töökeskkonda.

DIALux tarkvaras paigutati valitud valgustite mudelid virtuaalsele töökoda plaanile (vt Joonis 4.4). Valgustid jaotati ühtlaselt üle pindala, arvestades tööalasid ja suurenenud valgustusvajadusega alasid. Valgustite arvu arvutas tarkvara automaatselt, lähtudes nõutavast valgustustasemest ja valgustite tehnilistest omadustest. Simulatsioon võimaldab visualiseerida iga valgusti valgustusala, mis aitab optimeerida nende paigutust.

Samas paigutas DIALux valgustuse mõõtepunktid automaatselt kogu töökoda pindalale. Mõõtepunktid jaotati ühtlaselt, arvestades ruumi geomeetriat ja valgustite paigutust. Mõõtepunktide tihedus valiti piisavaks, et saada täpne pilt valgustuse jaotusest. (vt Joonis 4.3) Vajadusel lisati automaatsele jaotusele mõõtepunkte suurenenud valgustusvajadusega kohtadesse. See võimaldas mõnedel aladel valgustustaset täpsemalt hinnata.



Joonis 4.4 Valgustite asukohad koos täpsustava tabeliga

Saadud valgustuse väärtusi kõigis mõõtepunktides võrreldi kehtivate normatiividega metallitööstuse töölaudade valgustuse osas (vt Joonis 4.5).

Võrdlusanalüüs näitas, et:

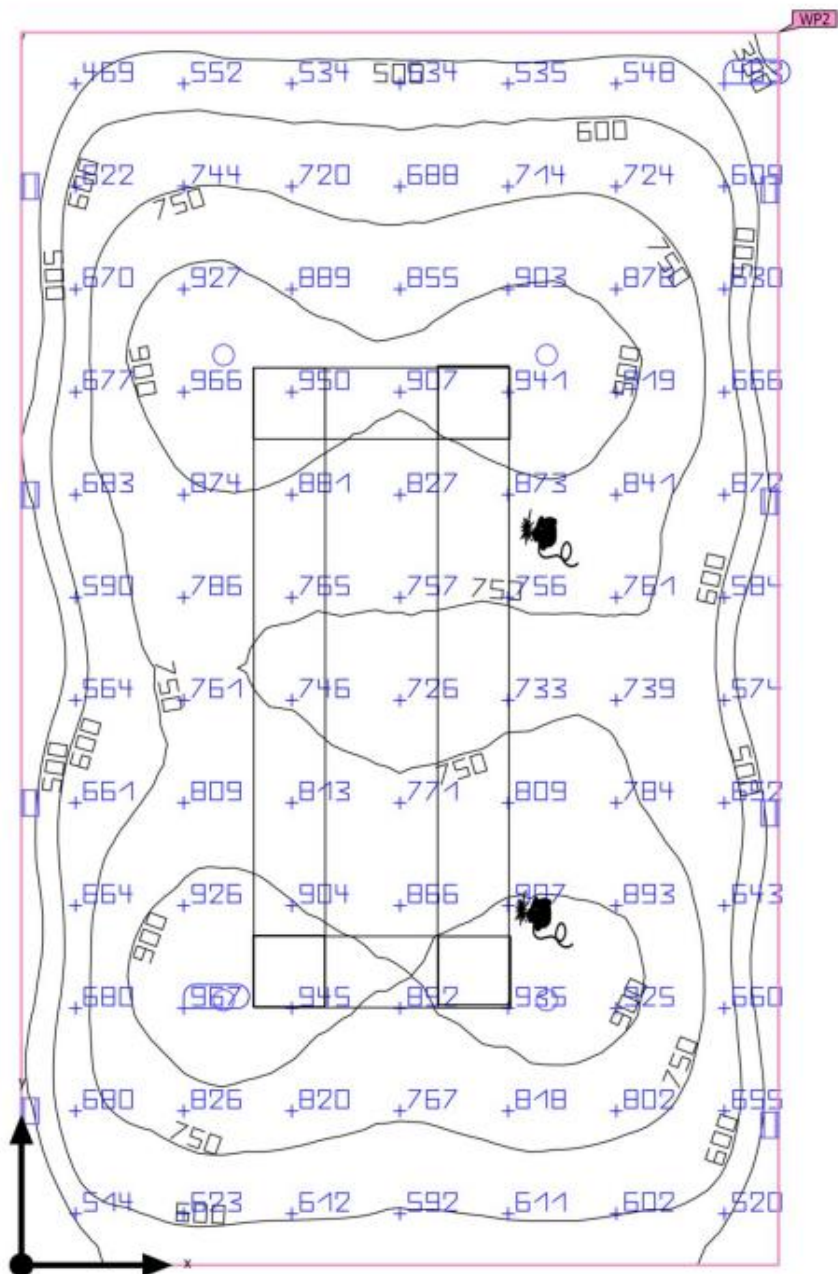
- Kõik paigaldatud mõõtepunktid vastavad standardis määratud normidele;
- Valgustus on töökoda pinnal üldiselt ühtlaselt jaotunud;
- 2D-mudeli valgustuse jaotuse visualiseerimine kinnitab samuti valgustuse ühtlikkust ja kehtivust (vt Joonis 4.6).

Kasutuspinnad

Atribuudid	Ē (Nõutav väärtus)	E _{min}	E _{max}	g ₁ (Nõutav väärtus)	g ₂	Indeks
Töötasand (Ruum 1) Ristine valgustustihedus (adaptiivne) Kõrgus: 0.800 m, Ääretsoon: 0.000 m	575 lx (≥ 300 lx) ✓	277 lx	728 lx	0.48 (≥ 0.00) ✓	0.38	WP1
Töötasand (Ruum 2 (liivapritsi)) Ristine valgustustihedus (adaptiivne) Kõrgus: 0.800 m, Ääretsoon: 0.000 m	734 lx (≥ 200 lx) ✓	277 lx	987 lx	0.38 (≥ 0.00) ✓	0.28	WP2
Töötasand (Ruum 3) Ristine valgustustihedus (adaptiivne) Kõrgus: 0.800 m, Ääretsoon: 0.000 m	625 lx (≥ 200 lx) ✓	366 lx	768 lx	0.59 (≥ 0.00) ✓	0.48	WP3
Töötasand (Ruum 4) Ristine valgustustihedus (adaptiivne) Kõrgus: 0.800 m, Ääretsoon: 0.000 m	531 lx (≥ 300 lx) ✓	274 lx	672 lx	0.52 (≥ 0.00) ✓	0.41	WP4
Töötasand (Ruum 5) Ristine valgustustihedus (adaptiivne) Kõrgus: 0.800 m, Ääretsoon: 0.000 m	677 lx (≥ 300 lx) ✓	309 lx	884 lx	0.46 (≥ 0.00) ✓	0.35	WP5
Töötasand (Ruum 6) Ristine valgustustihedus (adaptiivne) Kõrgus: 0.800 m, Ääretsoon: 0.000 m	623 lx (≥ 300 lx) ✓	327 lx	756 lx	0.52 (≥ 0.00) ✓	0.43	WP6
Töötasand (Ruum 7) Ristine valgustustihedus (adaptiivne) Kõrgus: 0.800 m, Ääretsoon: 0.000 m	484 lx (≥ 300 lx) ✓	202 lx	690 lx	0.42 (≥ 0.00) ✓	0.29	WP7

Joonis 4.5 Valgustustiheduse normidele vastavuse kontroll

Üldiselt näitas DIALuxis tehtud valgustuse simulatsioon, et valitud valgustussüsteem tagab nõutava valgustustaseme vastavalt normatiivsetele nõuetele. On olemas väikesed tsoonid, kus valgustustase on pisut normist madalam või kõrgem. DIALux programmi kasutamine valgustuse simulatsiooniks võimaldas optimeerida valgustussüsteemi ja säästa energiat täpsema valgustite arvu ja võimsuse arvutamise abil. Simulatsioonitulemusi saab kasutada valgustussüsteemi kasutus- ja hooldusjuhiste väljatöötamiseks.



Joonis 4.6 Valgustustiheduse 2D mudel

4.1 Majanduslik kasu

Kulude analüüsimiseks oli koostatud tabel (tabel 4.1) uue ja vana süsteemide võrdlemiseks. Uue valgustuse puhul on esitatud üksikasjalikud andmed nagu ühe valgusti võimsus, hind, kogus, elektrikulu jne. Olemasoleva valgustuse kohta on teada vaid võimsus, kogus ja elektrikulu. Analüüsi käigus selgub, et uus valgustus võimaldab aastas kokku hoida 7350.04 eurot võrreldes olemasoleva valgustusega. See on tingitud peamiselt uue süsteemi madalamast energiatarbimisest. Uue valgustuse aastased kogukulud, mis hõlmavad nii elektri- kui ka amortisatsioonikulusid, on 8654.23 eurot. See on oluliselt madalam kui olemasoleva valgustuse aastased kogukulud, mis ulatuvad

15989.40 euron. Seega on uuele valgustusele üleminek majanduslikult väga põhjendatud, kuna see toob kaasa märkimisväärse rahalise kokkuhoiu, mis kompenseerib uue süsteemi soetamise kulud suhteliselt lühikese ajaga.

Tabel 4.1 Uue valgustussüsteemi tasuvus

	Uus valgustus	Olemasolev valgustus
Elektri hind eur/kWh	0,09	
Ühe valgusti võimsus W	138	125
Ühe valgusti hind (eur)	78,3	
Valgustite kogus (tk)	115	235
Töötunde ööpäevaes	18	
Tööpäevi kuus	28	
Elektrikulu päevas 1 valgusti (eur)	0,22	0,20
Elektrikulu päevas (eur)	25,71	47,59
Elektrikulu kuus (eur)	719,86	1332,45
Kokkuhoid kuus (eur)	612,59	
Tasuvus kuudes	~15	

KOKKUVÕTE

Käesoleva lõputöö eesmärk oli analüüsida ja hinnata Birgeri töökoda valgustussüsteemi vastavust kaasaegsetele normidele ja nõuetele ning välja töötada rekonstrueerimiskava selle efektiivsuse tõstmiseks ja energiatarbimise vähendamiseks.

Uuring algas valgustuse olulisuse rõhutamisega töökeskkonnas, eriti metallitööstuses, ning selle mõju töötajate heaolule, tootlikkusele ja ohutusele. Teiseks, kirjeldati sisevalgustuse standardit EVS-EN 12464-1:2021, mis määrab nõuded valgustuslahendustele erinevates töökeskkondades, keskendudes metallitöötlemisele ja tuues välja erinevate tööde jaoks vajaliku valgustustiheduse.

Edasi keskenduti valgustustiheduse mõõtmisele ja valgustussüsteemi rekonstrueerimisele metallitööstusettevõttes. Kirjeldati mõõtmisprotsessi ja tulemuste analüüsi, mis näitasid, et olemasolev valgustussüsteem ei vasta standarditele. Edaspidi kasutati DIALux tarkvara valgustuse simulatsiooniks, et valida sobivad LED-valgustid ja välja töötada detailne valgustusprojekt. Simulatsioonitulemused näitasid, et uus valgustussüsteem tagab nõutava valgustustaseme vastavalt normatiivsetele nõuetele ning on oluliselt energiasäästlikum, tuues ettevõttele märkimisväärset rahalist kokkuhoidu. Uue LED-valgustussüsteemi kasutuselevõtt vähendab oluliselt energiatarbimist, mis omakorda vähendab elektriarveid. Lisaks on LED-valgustitel pikem eluiga, mis vähendab hoolduskulusid. Kuigi esialgne investeering uude valgustussüsteemi võib olla suur, tasub see end pikas perspektiivis ära tänu väiksematele tegevuskuludele ja suuremale energiasäästule.

Lõputöö tulemused näitavad, et valgustussüsteemi rekonstrueerimine on oluline samm töötajate heaolu, tootlikkuse ja ohutuse parandamiseks ning ettevõtte energiakulude vähendamiseks. Uus valgustussüsteem vastab standarditele, tagab ühtlase valgustuse jaotuse ning on oluliselt energiasäästlikum kui vana süsteem.

SUMMARY

Analyzing the reconstruction possibility of the illuminance of the Birger factory is written by Ruslan Ševtšuk.

The thesis analyzes and evaluates the lighting system of Birger's workshop to determine its compliance with modern standards and requirements. It also develops a reconstruction plan to increase its efficiency and reduce energy consumption. The study begins by emphasizing the importance of lighting in the work environment, particularly in the metal industry, and its impact on employee well-being, productivity, and safety. It then describes the indoor lighting standard EVS-EN 12464-1:2021, which specifies the requirements for lighting solutions in different work environments, focusing on metalworking and highlighting the required illuminance for different tasks.

The study focuses on measuring illuminance and reconstructing the lighting system in a metalworking company. The measurement process and analysis of the results are described, which showed that the existing lighting system does not meet the standards. DIALux software was used for lighting simulation to select suitable LED luminaires and develop a detailed lighting project. The simulation results showed that the new lighting system would provide the required illuminance level according to regulatory requirements and be significantly more energy efficient, bringing significant financial savings to the company.

The implementation of the new LED lighting system will significantly reduce energy consumption, which in turn will reduce electricity bills. In addition, LED luminaires have a longer lifespan, which reduces maintenance costs. Although the initial investment in a new lighting system may be high, it pays off in the long run due to lower operating costs and greater energy savings.

The results of the thesis show that the reconstruction of the lighting system is an important step in improving employee well-being, productivity, and safety, as well as reducing the company's energy costs. The new lighting system meets the standards, ensures even light distribution, and is significantly more energy efficient than the old system.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

1. Nord Pool Day-ahead prices. [Online]
<https://data.nordpoolgroup.com/auction/day-ahead/prices?deliveryDate=2022-01-01¤cy=EUR&aggregation=Monthly&deliveryAreas=AT> (01.05.2024).
2. B. Gayral. LEDs for lighting: Basic physics and prospects for energy savings. France, 2016. [Online]
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S163107051730052X>.
(10.05.2024).
3. J. Silvester, E.Konstantinou. Lighting, Well-being and Performance at Work. [Online]
https://www.bayes.city.ac.uk/_data/assets/pdf_file/0004/363217/lighting-work-performance-cass.pdf (10.05.2024).
4. C.Blume, C.Garbazza, M. Spitschan. Effects of light on human circadian rhythms, sleep and mood, 2019. [Online]
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6751071/> (01.05.2024).
5. EVS-EN 12464-1:2021 Valgus ja valgustus. Töökohavalgustus. Osa 1: Sisetöökohad, 2021. [Online] <https://www.evs.ee/et/evs-en-12464-1-2021> (20.02.2024).
6. K.Reinhold. Workplace Assessment: Determination of Hazards Profile Using a Flexible Risk Assessment Method, 2009. [Online]
<https://digikogu.taltech.ee/en/Download/102e8929-f386-42c8-b185-a5f620a41fbe> (20.02.2024).
7. D.Saar. Töötervishoiu ja tööohutuse kulude maksustamine, 2015. [Online]
https://digiriiul.sisekaitse.ee/bitstream/handle/123456789/473/2015_Saar.pdf (15.03.2024)
8. R.Kralikova, F.Koblasa, E.Wessely, 2018. [Online]
https://www.researchgate.net/publication/329460860_Influence_of_Lighting_Maintenance_on_the_Energy_Consumption (15.03.2024).
9. EVS-EN 12464-1:2021 Valgus ja valgustus. Töökohavalgustus. Osa 1: Sisetöökohad, 2021. [Online] <https://www.evs.ee/et/evs-en-12464-1-2021> (10.05.2024).
10. Tootmistehased. [Online]
<https://www.glamox.com/et/pbs/lahendused/toostus/tootmisettevotted/> (10.05.2024).

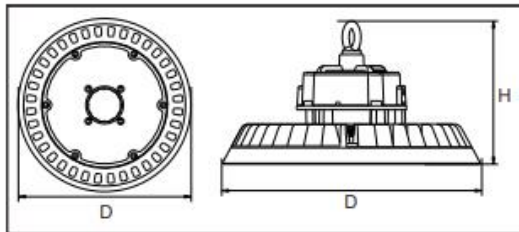
LISA 1 VALGUSTI PARAMEETRID

Crossover Series
LED High Bay



Features

Housing: Die-cast
 Thermal Conductivity: 96 W/m·K
 Led: Sanan
 CRI: Ra>70 (80 for option)
 SDCM: <6
 Power Factor: >0.95
 THD: <15
 Driver: Sosen
 Driver Efficiency: >93%
 Protection: OTP, OCP, OVP, SCP
 Surge Protection: 4KV
 Waterproof: IP65
 Impact Test: IK08
 Electrical: 100-277V, 50/60Hz
 Operating Temperature: -40~60°C
 TM21: L80B10>50,000H
 Lifetime: 50,000H



Optional accessories

0/1~10V· Micro-wave DALI

Optical options:



Model	Watt	Voltage	Lumen	CRI	IP	Dimension
HB100CE0M-SYS	100W	100-277V	20000LM	>70(80)	IP65	D308*H181
HB150CE2M-SYS	150W	100-277V	24000LM	>70(80)	IP65	D308*H181
HB200CE4M-SYS	200W	100-277V	40000LM	>70(80)	IP65	D354*H183

K.G. Knutsson AS
 Saeveski 12, 11214 Tallinn
 E-post: info@kgk.ee

KGK