



samk

Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

SAMI KETTUNEN

Tahkoluodon syväsataman alueva- laistuksen uusiminen

energiankulutus ennen ja jälkeen

SÄHKÖ- JA AUTOMAATIOTEKNIIKAN
TUTKINTO-OHJELMA
2023

TIIVISTELMÄ

Kettunen, Sami: Tahkoluodon syväsataman aluevalaistuksen uusiminen energiankulutus ennen ja jälkeen
Opinnäytetyö, AMK
Sähkö- ja automaatiotekniikka
Lokakuu 2023
Sivumäärä: 33

Työssä tutustuttiin Porin Tahkoluodon syväsataman nykyisiin valoihin ja sen ohjaukseen, sijoitteluun ja mitattiin valovirrat satama-alueelta. Lisäksi otettiin valokuvia mittausten ja fyysisten aistien tueksi.

Syväsatamassa ympäristö on haasteellinen, kivihiili on värjännyt paikan mustaksi ja valo suorastaan imeytyy sinne, tehden paikasta todella pimeän. Ennen työn aloitusta kohteessa suoritettiin valovirran mittaukset ja dokumentointiin havainnot myös valokuvin. Lisäksi mitattiin valojen virrankulutus, sekä otettiin aikaa syttymisviiveestä.

Työssä perehdyttiin käytössä olleisiin valaisintekniikoihin ja mahdollisiin uusiin valoihin. Työn aikana oltiin yhteydessä eri valaisintoimittajiin ja Jyväskylän sähkömessuilta haettiin tarjouksia mahdollisista uusista valaisinjärjestelmistä sekä tutustuttiin alan uutuuksiin ja kotimaisiin valaisinjärjestelmä toimittajiin.

Valojen uusintaan liittyi myös valojen ohjauksiin tutustumista, ohjauksella on suuri merkitys energian säästöä haettaessa. Ohjauksen oikeanlainen käyttö säästää paljon kustannuksissa, mutta myös lisää työviihtyvyyttä ja vähentää vaaratilanteita.

Uusien valaisimien asennuksen jälkeen tehtiin uusintamittaukset, niin virrankulutuksen kuin valaistuksen suhteen eri osatehoilla, sekä havainnointiin muutosta fyysisesti. Lopputuloksena meillä on selkeä kuva uusinnan kustannuksista ja laskelmat teoreettisesta säästöstä, sekä mielipide kohteen työntekijöiltä, miten valaistuksen uusiminen on vaikuttanut työntekoon.

Avainsanat: Valaistus, LED-valot, ledit, työviihtyvyys, energiansäästö, Porin satama.

Abstract

Kettunen, Sami: Renewing the area lighting of Tahkluoto's deep harbor energy consumption before and after

Bachelor's thesis

Electrical and automation engineering

October 2023

Number of pages: 33

In the work, we familiarized ourselves with the current lights of the Tahkoluoto deep harbor in Pori and its control, placement, and I measured the light currents from the harbor area. I also took photos to support measurements and physical senses.

In the deep harbor, the environment is challenging, the coal has colored the place black, and the light is directly absorbed there, making the place really dark.

Before starting the work, I measured the light flux at the site and documented the observations with photographs. In addition, I measured the power consumption of the lights, and timed the ignition delay.

At work, I familiarized myself with lighting technologies that were in use and possible new lights. During my work, I was in contact with different lighting suppliers and at the Jyväskylä electricity fair I sought offers for possible new lighting systems and got to know the innovations of the industry and domestic lighting system suppliers.

Renovating the lights also involved getting to know the controls of the lights, control is of great importance when seeking energy savings. Correct use of the controls saves a lot in costs, but also increases work comfort and reduces dangerous situations.

After the installation of the new lamps, I did re-measurements, both in terms of power consumption and lighting with different power levels, and I observed the change physically. As a result, we have a clear picture of the renewal costs and calculations of the theoretical savings, as well as the opinion of the site's employees on how the renewal of the lighting has affected the work.

Keywords: Lighting, LED lights, LEDs, work comfort, energy saving, Port of Pori.

ALKUSANAT

Kiitän opinnäytetyön aiheesta SAMKin Teemu Heikkistä, työn ohjauksesta Marko Ylistä, työn tilaajaa Porin sataman Henrik Räisästä, sekä mittauksissa avustanutta Jussi Aaltosta. Opinnäytetyö lähti vauhdilla käyntiin, vaikka loppumittaukset pystyinkin tekemään vasta vuoden päästä.

SISÄLLYS

1 JOHDANTO.....	7
2 TOIMEKSIANTO.....	8
2.1 Toimeksiantaja.....	8
3 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS	9
3.1 Kohde	9
3.2 Mittauspaikat.....	10
3.3 Lähtötilanteen mittaus	11
3.4 Lopputilanteen mittaus	12
4 LEDVALAISTUKSEN VALINTA	13
4.1 Led-tekniikkaa lyhyesti	14
4.1.1 Ledin tehonsäätö	16
4.2 Kohteeseen sopivat valaisimet.....	16
4.3 Tarjouskilpailutus	16
4.4 Valaisin	17
5 OHJAUSTAVAN VALINTA.....	19
5.1 Analoginen 0-10V	19
5.2 DALI.....	19
5.2.1 DALI – osoitteellinen digitaaliohjaus.....	20
5.2.2 DALIn yhdistäminen muihin ohjausjärjestelmiin	21
6 VALOMITTAUKSET KENTÄLLÄ	21
6.1 Mittauksissa käytetyt laitteet.....	22
6.2 Valovoiman mittaus vanhoilla valoilla	23
6.3 Valovoiman mittaus uusilla valoilla	23
6.4 Valovoiman mittaustulokset.....	24
6.5 Valovoiman vertailu ennen ja jälkeen	24
7 ENERGIAMITTAUS.....	25
7.1 Energiamittauksessa käytetyt laitteet	26
7.2 Energiamittauksen tulokset	27
7.3 Energiankulutuksen vertailu	29
8 NÄKÖAISTIMINEN	29
8.1 Valokuvaus	29
8.2 Näkeminen.....	29
8.3 Häikäisy	30
9 TULOKSET JA PÄÄTELMÄT	31
10 LÄHTEET	32
LIITE 1: ENNEN JA JÄLKEEN -KUVATRIPLOJA	33

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

CRI Värintoistoindeksi, (colour rendering index)

DALI (Digital Adressable Lighting Interface)

E Valaistusvoimakkuus, lx (lux) (1 lx = 1 lm/m²)

EEl Energiatohokkuusindeksi (Energy Efficiency Index)

EuP Sähkölaitteiden energiadirektiivi (Energy Using Products)

HID Suurpainaiset purkauslamput (High Intesity Discharge)

I Intensiteetti, W/nm

I Valovoima, cd (candela) (cd = lm / sr)

IR Infrapuna, lämpösäteily, 700 nm – 1 mm

L Luminanssi, cd/m²

LCC Elinkaarikustannukset (Life-Cycle Costs)

LED Hohtodiodi (Light Emitting Diode)

LLMF valovirran alenema (Lamp Lumen Maintenance Factor)

SPNa Suurpainenatrium polttimo (High Pressure Sodium)

UV Ultravioletti, ultraviolettisäteily, 100–380 nm

λ Aallonpituus, nm

ρ Materiaalin heijastuskerroin

Φ Valovirta, lm (lumen)

1 JOHDANTO

Työn tarkoitus on selvittää valaistuksen modernisoinnin taloudellinen hyöty, sekä valovoima ennen ja jälkeen valojen vaihdon. Taloudellisen hyödyn lisäksi työiihtyvyyden oletetaan parantuvan, luonnollisemman valon värin takia.

LED-valaistus on nykyaikaa, sillä saavutetaan parempi valovoima käytettyä energiamäärää kohden. LED-valaisimet mahdollistavat valon kohdistamisen sinne, missä sitä tarvitaan, koska LED-emitteri säteilee valoa vain yhdeltä puolelta. Valaistuksen uusiminen on kallis toimenpide, mutta vanhojen valaisimien ylläpito ja suuri virrankulutus nousevien energiakustannusten siivittämänä puoltaa uusimista uuteen säädettävään ja vähemmän vikaantuvaan pitkäikäiseen led-tekniikkaan.

Porin sataman, Tahkoluodon bulk-laiturikentän aluevalaistus on toteutettu tämän työn aloitushetkellä suurpainenatriumvalaisimilla. Valaisimet on sijoitettu neljään valaisinpylvääseen. Nämä valaisinpylväät jäävät käyttöön uusille LED-valaisimille, uudet Ledit asennetaan samaan korkeuteen kuin vanhat valot, eli n. 34 metrin korkeuteen.

2 TOIMEKSIANTO

2.1 Toimeksiantaja

Porin Satama Oy on kattavasti varusteltu satama, joka pystyy palvelemaan kaikkia Itämerellä kulkevia aluksia. Sataman infra, tarjottavat palvelut ja yhteydet lähialueille mahdollistaa asiakasyritysten aktiivisen toiminnan. Porin Satama on monipuolinen satama, joka on valmis käsittelemään mitä tahansa tyyppiä olevaa tavaraa. Se on erinomainen paikka tavaroiden käsittelylle, varastoinnille ja erilaiselle tuotannolle.

Porin saareton edusta ja syvät meriväylät tekevät navigoinnista turvallista ja vaivatonta. Talvisin jäätilanne on yksi parhaimmista Suomessa. Sisämaahan on hyvät liikennöintiyhteydet niin valtateitä kuin molempiin satamiin johtavia rautateitäkin pitkin.

Porin Satama on yksi suurista satamista Suomessa, jolla on vielä tilaa kehittyä ja kasvaa tarpeiden mukaisesti. Satama tarjoaa monipuolisimmat satamalaitteet Suomessa, kyeten käsittelemään jopa 200 tonnin nostoja.

Tärkeimmät vahvuudet:

- Satama-alueella toimivien yritysten ja Porin Sataman henkilöstön laaja-alainen osaaminen.
- Laaja tonttitarjonta ja mahdollisuudet laajentumiseen. Sataman ympäristössä on yli 200 hehtaaria vapaata tilaa, ja esimerkiksi kemikaalitalamassa on tilaa noin 300 000 kuutiometrille säiliökapasiteettia.
- Erinomainen saavutettavuus mereltä: Suomen syvin, 15,3 metriä syvä väylä, mahdollistaa kaikkien Itämerellä liikkuvien alusten vastaanottamisen ja käsittelyn. Mäntyluodon väylässä on 12 metrin kulkusyvyys.
- Suomen parhaat jääolosuhteet, ilman saaristoa, mikä helpottaa navigointia.
- Hyvät ja ruuhkattomat yhteydet muualle maahan, valtatie 2, 8, 11 ja 23.
- Rautatieyhteys valtakunnan verkostoon ja Venäjälle.

- Erittäin monipuolinen käsittelylaitteisto.
- Painotus ympäristön ja työturvallisuuden merkitykselle.
- Satamaoperaattori- ja ahtaustoiminta ovat yksityisomistuksessa, joka takaa tasapuolisen palvelun kaikille asiakkaille. (Porin satama 2016)

3 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

3.1 Kohde

Mittauskohteena on Tahkoluodon syväsataman laiturialueen valaistusjärjestelmä, joka koostuu neljästä noin 34 metriä korkeasta valomastosta (ks. kuvat 1 ja 2). Jokaisessa mastossa on 9–20 kpl 1000W SPNa-valaisimia, yhteensä 63 valaisinta. Tarkoituksena on suunnitelman mukaisesti korvata nämä LED-valaisimilla. Tavoitteena on mitata ja valaisinten ja mastojen energiankulutus sekä valaistusteho eri alueilla ennen ja jälkeen valaisinten vaihdon.



Kuvat 1 ja 2. Porin Tahkoluodon syväsataman alueen yleiskuva ja valaisinmastojen sijainti tarkemmin ja numeroituna (Karttapaikka 2019).

Valaistuksen tehonkulutus, kun valot ovat päällä, mitataan ottamalla pihtivirta- ja jännitemittaukset valaisinmaston sähköliittimistä ja käyttämällä verkkoanalysointia. Samanaikaisesti arvioidaan alueen valaistusolosuhteet valovoimakkuusmittarilla (luxmittari) erikseen määritellyiltä sijoituspaikoilta, joissa myös toistomittaukset voidaan suorittaa (ks. kuvat 3 ja 4). Valaistuksen

vaikutusta arvioidaan myös subjektiivisesti ja kuvien avulla. Lopulliset mittauspisteet merkitään karttapohjaan mittauksen aikana. Jokaisen valaisinmaston mittauksen yhteydessä on tarkoitus tarkastaa ja laskea mahdolliset vialliset tai palaneiden SPNa-valaisinten määrä. Tarkempi tieto valaisinten lähdöistä ja niiden sijainnista, sekä mahdolliset avaimet ja opas liittyen sähkökaappeihin, ovat tarpeen käytännön mittauksia varten.

3.2 Mittauspaikat

Valaistusolosuhteiden mittaus toteutetaan niiltä sijaintipaikoilla, jotka on merkitty kuviin 3 ja 4. Paikat on määritelty niin, että kokonaiskuva valaistuksesta saadaan hyvin todennettua.



Kuva 3. Suunnitellut valaistusolosuhtemittauspaikat 1 - 3 (Karttapaiikka 2019).



Kuva 4. Suunnitellut valaistusolosuhdemittauspaikat 4 ja 5 (Karttapaikka 2019).

3.3 Lähtötilanteen mittaus

Lähtötilanteen mittaus on helpointa suorittaa marras-joulukuussa, kun päivät ovat lyhyitä ja pimeitä, mikä mahdollistaa mittaukset normaalin työajan puitteissa. Tällä aikavälillä maassa ei yleensä ole lunta, joten valaistusolosuhteet saadaan heikoimmassa mahdollisessa tilanteessa. Tarkempi ajankohta ja varapäivät on sovittava yhteistyössä Porin Sataman kanssa.

Taulukkoon 1 on lisätty mitattavien valaisinmastojen valaisimien lukumäärät ja yhteistehot. Sarakkeessa " P_{arv} " on esitetty arvio siitä, mihin maston kokonaisottoteho asettunee, kun kaikki valot ovat päällä. Kertoimina on käytetty haarukkaa 1,5–1,9, osittain perustuen aiempiin SAMKin suorittamiin mittauksiin vastaavilla 250 watin SPNa-valaisimilla. Ennen mittauksia on tärkeää saada tieto (sähkökuva), kuinka monta lähtöä/mastoa on mitattava ja kuinka monta valaisinta jokaisen lähdön takana on. Taulukko 1 tulee päivittää vastaavasti.

Taulukko 1. Mastokohtaiset valaisinmäärät ja arvioidut tehonkulutukset.

Valaisinmasto	1000W SPNa [kpl]	$P_{nim.}$ yhteensä [kW]	P_{arv} yhteensä [kW]
M1	16	16	24-30
M2	20	20	30-38
M3	18	18	27-34
M4	9	9	14-15
Yhteensä	63	63	95-117

3.4 Lopputilanteen mittaus

Koska valaistus uusitaan keväällä, jolloin päivä pitenee, saattaa olla järkevintä suorittaa uusintamittaus pimeän ajan osalta vasta seuraavana syksynä, kun päivänvalo taas lyhenee. Esimerkiksi huhtikuussa Porissa aurinko nousee noin klo 6:30 ja laskee noin klo 21, kun taas lokakuussa aurinko nousee noin klo 8 ja laskee noin klo 18. Tarkempi ajankohta uusintamittaukselle on sovitava yhteistyössä Porin Sataman kanssa. Muutoin lopputilanteen mittaus toteutetaan samalla tavalla kuin alkutilanteessa, eli suorittamalla mittauksia, havainnoimalla, laskemalla ja tallentamalla valokuvia.

Mittauksista laaditaan lyhyt raportti, jossa kuvataan suoritettujen energiatehokkuustoimenpiteiden, esitetään mittaus tulokset ja tehdään päätelmät toimenpiteiden kannattavuudesta, erityisesti energiansäästön näkökulmasta. Raportissa myös arvioidaan LED-valojen etuja, kuten niiden parempaa ohjattavuutta verrattuna vanhaan tekniikkaan ja niiden vaikutuksia energiankulutukseen.

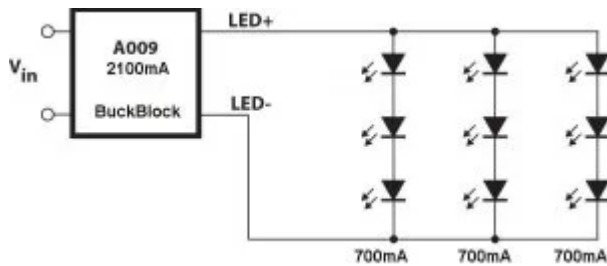
Tämä työ ja tutkimus toteutetaan EU-rahoitteisessa SataMari-hankkeessa, jonka tulokset ovat julkisia ja tarkoitus hyödyttää useita sidosryhmiä (yleishyödyllisyys). Ennen tulosten julkaisemista kyseinen raportti tarkastetaan ja käsitellään Porin satamalla varmistaen, ettei arkaluontoista tai ei-toivottua tietoa paljasteta julkisesti. (Heikkinen 2019).

4 LEDVALAISTUKSEN VALINTA

LED-valaisimien valintaan vaikuttaa useampi osatekijä, kuten käyttöolosuhteet, haluttu valovoima, valon värilämpö, toivottu käyttöikä, valonohjaus, ja tietenkin hinta. Tässä työssä keskitytään teollisuuskokoluokan ratkaisuihin, jotka poikkeavat kotikäyttöön tehdyistä ledivaloista, koska kuluttajakäyttöisissä valaisimissa yleensä riittää töpselin seinään laittaminen ja valo syttyy. Teollisuuskokoluokan LED-paneeleissa voi olla ulkoinen virtalähde, tai virtalähde voi olla valaisimeen sisäänrakennettu ja ohjainvaihtoehtoja monia.

Hinnan ohella painotusta voi tehdä huoltovälistä, monet toimittajat antavat valaisimelle käyttötunteihin perustuvan käyttöiän, joka muuttuu käytetyn kirkkauden eli tehon mukaan. Jos valaisinta ajetaan aina 100 % teholla, käyttöikä voi lyhentyä huomattavasti.

Pelkkä LED-valopaneeli ei itsessään sellaisenaan vielä toimi, vaan se vaatii liitäntälaitteen, kuten loisteputki, tai kaasupurkausvalokin. Ledien tapauksessa valaisin monesti sisältää tämän välttämättömän liitäntälaitteen. Liitäntälaite, poweri, driveri, virtalähde, monta nimeä mutta sama tehtävä. Sen tehtävä on muuntaa verkkovirta ledipaneelille sopivaksi. Ledipaneeli sisältää kymmeniä tai satoja yksittäisiä ledejä, jotka ovat valmistajan mukaan, kytketty sarjaan ja rinnan.



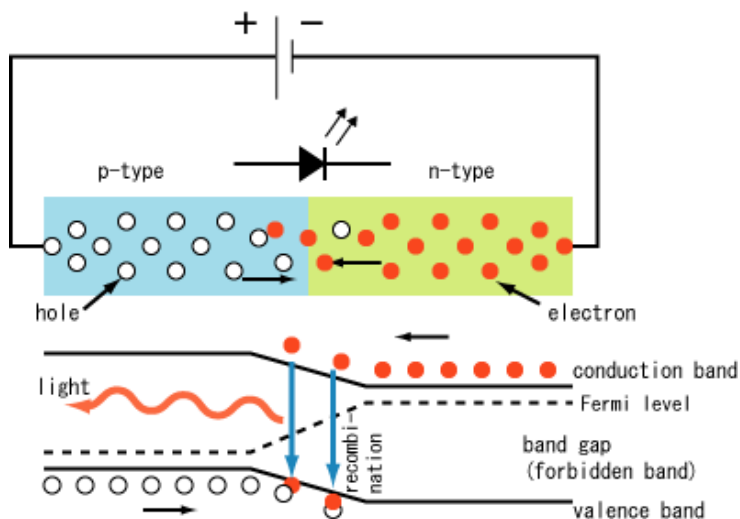
Kuvat 5. Ledien sarjaan ja rinnan kytkentä. (Ledsupply 2023)

4.1 Led-tekniikkaa lyhyesti

Ledien toiminta perustuu n-tyypin puolijohteen "ylimääräisten" elektronien ja p-puolijohteen elektronivajaiden "aukkojen" yhtymiseen. Yhtymisessä n-puolijohteen elektronien määrä laskee niiden täyttäessä p-puolijohteen aukkoja. Näissä energiatason muutoksissa vapautuu energiaa lähinnä fotoneina, mutta myös lämpönä. Valon syntymistä kutsutaan elektroluminesenssiksi, sen voidaan ajatella olevan aurinkopaneelin valosähköisen ilmiön käänteinen tapahtuma. (LED 2023)

Valon väri voi olla punaista, vihreää, keltaista, tai sinistä, riippuen siitä, mitä alkuaineita puolijohteen seostamisessa on käytetty. Yksi tapa valmistaa valkoinen ledi, on tehdä sininen ledi, joka päällystetään eri aallonpituuksilla fluoresoivalla aineella. Tämän ansiosta Ledistä saadaan valkoista valoa. Ledin hyviin ominaisuuksiin kuuluu myös se, ettei se tuota UV-säteilyä. (Hidealite 2023)

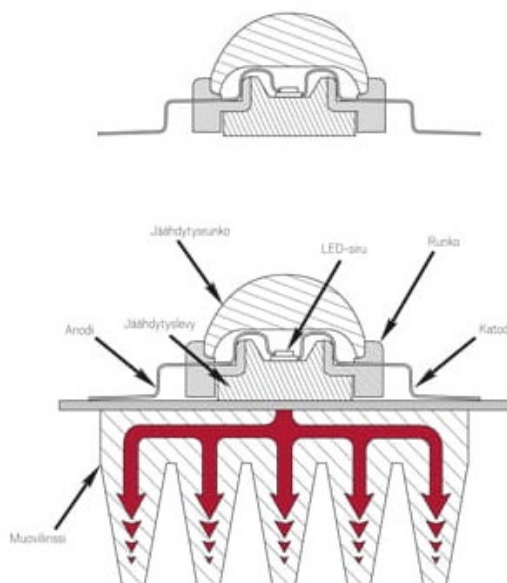
Fluoresenssi on yksi luminesenssi-ilmiö. Siinä atomiin tuleva fotoni virittää atomin, eli atomin elektroni siirtyy korkeammalle viritystilalle. Viritystilan purkautuessa syntyy joko saman energinen fotoni tai yksi tai useampi matalampi energinen fotoni. Loppuosa alkuperäisen fotonin energiasta siirtyy lämmöksi. Tästä syystä syntyy myös lämpöä. Fluoresenssissa emittoidut fotonit havaitaan hyvin pian niiden absorptioin jälkeen. (Fluoresenssi 2023)



Kuva 6. Valon syntymekanismi LEDissä (LED 2023)

Ledillä ei ole myötä suunnassa sähkövastusta, joten virtapiirissä on oltava virranrajoitus, jottei LED pala rikki. LED edellyttää tasavirtaa oikealla napaisuudella liitälaitteen kautta, koska se johtaa virtaa vain toiseen suuntaan. Syötettävän virran suuruus määrää, kuinka paljon diodi tuottaa valoa. (Hidealite 2023). Valon määrä ei kasva lineaarisesti, joten jokaiselle eri emitterityypille on määritelty maksimi- ja mitoitusvirta.

LED-moduulin poikkileikkaus ja lämmönsiirto



Kuva 7. LED-moduulin poikkileikkaus (Hidealite 2023)

4.1.1 Ledin tehonsäätö

Ledin himmennys on yleensä toteutettu PWM (Pulse Wide Modulation) -tyylishästi, eli se on sammutettuna ja päällä tietyssä syklissä. Esimerkiksi 50 % teho saavutetaan katkomalla ledille syötettävää virtaa suhteessa 50 % päällä 50 % pois. Tämän on tapahduttava yli 300 Hz taajuudella, jotta silmä ei havaitse vilkkumista ja kun mennään yli 20 kHz taajuudelle, ei virtalähde aiheuta korvin kuultavaa vinkumista. Valon jatkuva sammuttelu ei lyhennä ledien käyttöikää, vaan päinvastoin pidentää sitä. Aina kun ledi on sammutettuna, se ei kulu.

4.2 Kohteeseen sopivat valaisimet

Tämä kohde luo tietyt haasteet valaisimelle, sen täytyy kestää ankaria sääoloja, mahdollisesti räiskyvää merivettä, hiilipölyä ja muita rasitteita, mitä esimerkiksi urheilukentän valaistuksen ei tarvitse kestää. Valaisimia täytyy voida ohjata ja valvoa etänä. Kirkkauden säätö ja ajastus halutaan tehdä etänä, sekä ajastukselle täytyy olla useita eri vaihtoehtoja, valot täytyy myös pystyä kytkeämään manuaalisesti päälle ja pois.

4.3 Tarjouskilpailutus

Porin Satama kilpailutti valaisimien toimittajat ja kohteen valaisimeksi valikoitui urakoitsijan asentamana Philips OptiVision. Philipsin € / lumen on edullisin, ja valotehoa on tarjouksen paketeista eniten, yli 8 miljoonaa lumenia. Tarjouslaskennasta käy ilmi iso hajonta niin hinnan kuin lumenien suhteen. Jos määrääväksi suureeksi otetaan valomäärä, tällöin halvimman tarjouksen tehnyt Easyled onkin 1,6 kertaa kalliimpi, kuin Philipsillä toteutettu järjestelmä. Tarjoukset olivat hyvin erilaisia, ottaen huomioon sen, että kaikilta pyydettiin samat asiat valovoiman ja etäohjattavuuden suhteen.

Taulukko 2. Tehovertailu toimittajien välillä (Räisänen 2020)

Tarjoaja	Malli	Valaisimen teho W	Lumenit/ valaisin	Valaisinten määrä	Kokonaisteho kW	Energianku- lutus kWh/vuosi	Lumen/W	Kokonaislumenit
Walkia	Infinity Stadium 1000W 30deg	1000	139949	40	40,0	152000	139,9	5597960
Easyled	BUBO B3G 1400 DALI	1540	176450	11	16,9	64372	114,6	1940950
Thorn Lighting	ALTISLEDG3 396L A6 757	1008	116750	36	36,3	137894	115,8	4203000
Finlight	FL-CC 480W	480	69600	50	24,0	91200	145,0	3480000
SteraLux	Area High Mast 2x200	400	56000	62	24,8	94240	140,0	3472000
Philips	BVP527 2120/740 BV A55-NB	1580	212000	38	60,0	228152	134,2	8056000
Nykyinen	SON-T 1000W	1150	78000	63	72,5	275310	67,8	4914000

4.4 Valaisin

Vertailun ja tarjouskilpailun voittanut valaisin Philips OptiVision, on malliltaan BVP527 2120/740 BV A55-NB. Valaisin koostuu kolmesta LED-moduulista, jotka on kiinnitetty kallistussäädettävään asennuskehukseen.

Liitäntälaitte on erillinen, siitä kertoo tyyppikoodin kirjaimet BV. 740 puolestaan kertoo valaisimen väriämpötilan 4000 k, joka on neutraalin valkoinen.

- Kotelo ja runko on alumiinia, linssi polykarbonaattia.
- Valaisimen suojausluokka IP 66, IK 08 eli ilkeivallan kestävä.
- Käyttölämpötila-alue - 40...+ 50 °C
- Ohjauslaitteen keskimääräinen vikaantumisaste 50 000 tunnin käyttöiän aikana on 0,25 %.
- Valovirta keskimääräisen 100 000 tunnin käyttöiän aikana 80 % (Philips 2023)



Kuva 8. Valaisinyksikkö, joita asennettiin yhteensä 38 kpl. (Philips a 2023)

Valolle voidaan syöttää valovirtaa 230 VAC, tai ilman nolaa kahden vaiheen jännite 400 VAC. Valaisimen liitäntälaitteen tyyppikilven arvoista, U_{led} ja I_{out} :sta voimme laskea, että yhden moduulin maksimi syöttöteho on 570 W, ja pienin syöttöteho on 20 W per moduuli. Valaisimen tehoa voidaan näin ollen säätää välillä 60 W – 1710 W. Liitäntälaitteen ottoteho on 1820 W, josta voimme laskea, että liitäntälaitte hukkaa lämmöksi täydellä teholla ajaessa 110 W tehon.



Kuva 9. Liitäntälaitteen tyyppikilpi (Aaltonen 2020)

5 OHJAUSTAVAN VALINTA

Ledejä voidaan ohjata monella eri tapaa. Tutuin tapa on varmaan suoraan käyttöjännitteellä ohjaaminen, eli virta päälle ja pois riippuen halutaanko valo päälle vai pois. Tällä tavalla vain ei saada ledien tuomia etuja käyttöön, kuten vaikka himmennystä.

Tästä syystä valmistajien on tarjottava myös valaisimia, joiden liitäntälaitteita voidaan ohjata ulkoisesti eri protokollilla. Yleisesti tunnettuja tapoja ovat DALI ja analoginen 0–10 V. Nämä ovat tiettävästi käytetyimmät järjestelmät kuluttajaelektronikan ulkopuolella.

Tässä työkohteessa oli ennen käytössä 0–10 V järjestelmä, portaalliseksi rakennettuna Siemensin logiikalla, jota oli vuosien saatossa modernisoitu. Nyt järjestelmä muuttui DALI-ohjattavaksi.

5.1 Analoginen 0–10 V

Analoginen 0–10 V säätö on erittäin yksinkertainen säätösystemi, jossa pienjännitteellä ohjataan liitäntälaitetta suoraan 0–10 V jännitettä käyttäen. Ohjauksen ollessa 0 V säätö on 0 % ja vastaavasti 10 V jännitteellä ohjainlaite on 100 % tehossa. Tämä järjestelmä oli käytössä satama-alueella, koska myös kaasupurkauslamppuja voidaan himmentää. Toki himmennys täytyy tapahtua vasta kun lamppu on ensin lämmennyt useita minutteja ja säätö on varsin rajallinen, jotta lamppu pysyy päällä. Lisäksi himmennys lyhentää polttimon elinikää. Säätö 0–10 V on myös herkkä indusoituvalle jännitteelle, sekä pitkien vetojen aiheuttamalle jännitteen alenemiselle, johtuen kaapelin resistanssista.

5.2 DALI

DALI (Digital Adressable Lighting Interface) on standardisoitu digitaalinen valonohjausprotokolla. DALI-järjestelmän ovat kehittäneet eurooppalaiset elektronisen liitäntälaitteiden valmistajat, Helvar, Osram, Philips ja Tridonic.

Myöhemmin DALI-yhteensopivien laitteiden valmistajien joukkoon on tullut myös muita valaisinalan yrityksiä.

5.2.1 DALI – osoitteellinen valonohjausliityntä

DALI toimii parikaapeloinnilla, sen kautta kaksisuuntainen digisignaali siirtyy järjestelmän kaikkien järjestelmässä olevien laitteiden välillä. Toisiinsa kytketyt liitälaitteet, tunnistimet, valot, ohjauspaneelit ja ohjelmointiyksiköt kommunikovat keskenään. "Äly" on tallennettu eli jaettu järjestelmän eri osiin. Tästä syystä järjestelmä on turvallisempi sekä luotettavampi, koska järjestelmä ei ole vain yhden keskusyksikön varassa. Daliin perustuva systeemi on hyvin joustava ja tulevaisuudessakin turvallinen, koska asetuksia voi muuttaa yksinkertaisesti ohjelmoimalla, mikäli muutostarvetta joskus tulee. Kaapelointia kelpaa yleensä sellaisenaan. (Fagerhult 2023)

Daliin liitetty järjestelmä siirtää dataa eri laitteiden välillä osoitteellisten digitaalisen signaalien perusteella. Koska signaali on digitaalinen, järjestelmän jokaista valaisinta voidaan ohjata tismalleen samalla tavalla ohjaimen ja ohjattavan laitteen välisestä etäisyydestä välittämättä. Dalin säädöllä voidaan kompensoida ihmissilmän logaritminen toiminta, eli säätö saadaan silmin nähden tasaiseksi. (Fagerhult 2023)

Valaisimeen tarvitaan perus vaihe-, nolla- ja suojajohtimen lisäksi vain kaksi signaalijohtinta. Nämä signaalijohtimet ovat potentiaalivapaita, joten asennus on hyvin yksinkertainen. (Fagerhult 2023)

Digitaalinen signaali ei reagoi ulkopuolisiin häiriöihin. Valot sytytetään, himmennetään ja sammutetaan DALI-väylän kautta annettavilla digitaalisilla käsikyillä. Näin ollen verkkojännite voidaan kytkeä ryhmäkeskuksesta suoraan valaisimiin. (Fagerhult 2023)

5.2.2 Dalin liittäminen toisiin ohjausjärjestelmiin

Dalin voi helposti yhdistää toisiin ohjausjärjestelmiin, esimerkiksi aikaisemmin käsitellyyn analogiseen 1–10 V:n säätöjärjestelmään. Jos järjestelmässä ei ole tarvetta erillisten laitteiden ohjaamiseen tai valvontaan, ja jos halutaan ohjata isoja valaisinryhmiä samalla tavalla. Tähän tarkoitukseen voi sopia esimerkiksi käyttöliittymän muunnin DALI – 1–10 V. Siinä tapauksessa valaisimiin asennetaan tai niissä on jo elektroninen liitäntälaitte analogiselle 1–10 V-valonohjaukselle, ja muutos tehdään käyttöliittymässä DALI -> 1–10 V. (Fagerhult 2023)

Tällaisella järjestelmällä valoja pystytään ohjaamaan keskitetysti, vaikka DALI-paneelien avulla. Ratkaisu on edullinen, koska yhdellä DALI-osoitteella voidaan ohjata useaa eri valaisinta. (Fagerhult 2023)

6 VALOMITTAUKSET KENTÄLLÄ

Mittauksissa käytin koulusta lainaksi saamiani laadukkaita mittavälineitä. Mittaukset ennen ja jälkeen on suoritettu samoilla välineillä ja samalla tavalla, sekä samoista paikoista. Kentällä jokaisesta mittapaikasta on otettu viisi erillistä mittausta, niin että yksi on otettu merkityltä paikalta, jonka lisäksi neljä mittausta eri ilmansuunnasta viiden metrin päästä merkitystä paikasta. Näin tehtynä heijastukset ym. on saatu eliminoitua ja tuloksessa on ilmoitettu näiden viiden mittauksen keskiarvo. Hiilikasat, nosturi ja laiva olivat erilaisia mittauksien välillä. Mutta en usko niiden vaikuttavan mittauksituloksiin oleellisesti.

Laiturilla mittauspaikkoja oli niin monta, että trendi tulee selväksi muutamista luxarvojen heitoista huolimatta. Mittauksitulokseen on merkitty, jos kyseisessä kohtaa oli varjo ja selvästi virheellinen mittatulos, ja nämä arvot on poistettu keskiarvon laskusta. Varjoja oli vain laiturin valovoimamittauksessa.

Lisäksi kävin mittaamassa ns. täysin pimeän Kallioholman päästä, siellä mittari näytti 0 Luxi.

Aistienvaraisten havaintojen tueksi otin valokuvia puhelimella. Kameran asetukset oli lukittu, aukko f/1.8, valotus 1/30 sekuntia, ISO-400, polttoväli 5 mm. Keskiarvotarkennus, ei salamaa.

6.1 Mittauksissa käytetyt laitteet

-Valaistusmittaukset: Lux-mittari Malmbergs LX1010b+ (kuva 10). Rakensin mittarille jalan, johon kiinnitin mittarin. Valoanturi oli tämän 100 cm korkean jalan päässä, osoittaen kohtisuoraan ylöspäin, jolloin valaistusmittaus oli helpposti toistettavissa. Mittaukset suoritin korkeasta polviasennosta, jolloin tulokset oli helppo kirjata ylös, enkä näin itse aiheuttanut varjoa mittaustulokseen. Käytin tätä samaa tukijalkaa ja mittaustapaa myös jälkeen -mittauksissa.



Kuva 10. Lux-mittari

6.2 Valovoiman mittaus vanhoilla valoilla

Aloituspäivä 2.1.2020 klo 17:59 – 19:22. Sää oli lähes selkeä, kova puuskainen tuuli ja kuivaa oli koko mittauksen ajan, + 5 °C. Täysin pimeä, pilvetön taivas. Haastetta antoi raju tuuli, joka repi paperit kädestä riekaleiksi. Onneksi mukana oli varalomakkeita ja kyniä. Aluksi 0 lux mittaus Kallioholman päästä. Tällä todensin, ettei auringonkajo vaikuta mittauksiin. Mittauspaikkoja kentällä oli kolme, joista otin yhteensä 15 mittausta, tämän lisäksi neljä mittausta aallonmurtajalta ja laiturilta (kuva 1) 24 erillistä mittausta.



Kuva 11. Mittaus käynnissä laiturilla. Kuvassa näkyy tukijalka ja muistiinpanovälinettä. Taustalla vellova meri ja aallonmurtajalla pyörivä tuulimylly.

6.3 Valovoiman mittaus uusilla valoilla

Led-valojen asennuksen jälkeinen mittaus 31.3.2021 klo 21:44 – 22:58. Sää oli pilvetön, tasainen tuuli, kuiva maa, + 4 °C. Olosuhteet tuulta lukuun ottamatta hyvin samanlaiset, kuin ennen-mittauksessa reilu vuosi sitten.

Aluksi kävin taas Kallioholman päässä mittaamassa 0 lux -arvon. Mittauspaikkoja kentällä oli samat kolme, joista otin jälleen jokaisesta viisi mittausta, mutta tällä kertaa myös eri valaistuksen tehoilla, eli yhteensä 49 mittausta. Näiden lisäksi neljä mittausta aallonmurtajalta ja laiturilta 60 erillistä mittausta.

6.4 Valovoiman mittaustulokset

Mittaustulokset olen lisännyt Excel-taulukkoon, josta käy ilmi jokaisen mittauspisteen luxit. Epämääräiset arvot laiturilla johtuivat nosturin jalkojen aiheuttamista varjoista, nämä arvot on poistettu laskuista, lisäksi valoista tuli silmin huomaamattomia valoisuuseroja, jolloin otin varmistusmittauksen ko. pisteestä. En esittele tässä jokaista mittausta, vaan kootusti arvot ja mittauksien erot.

Mittaukset tukivat aistein tehtyä arviointia, jo himmeimmällä teholla uudet led-valot tuottivat valoa sen verran, että työskentely olisi ollut helpompaa kuin vanhoilla valoilla. Tämä johtuu osaltaan myös siitä, että valon väri valaisee paikan ns. normaalisti, eikä oranssiksi, kuten vanhat valot.

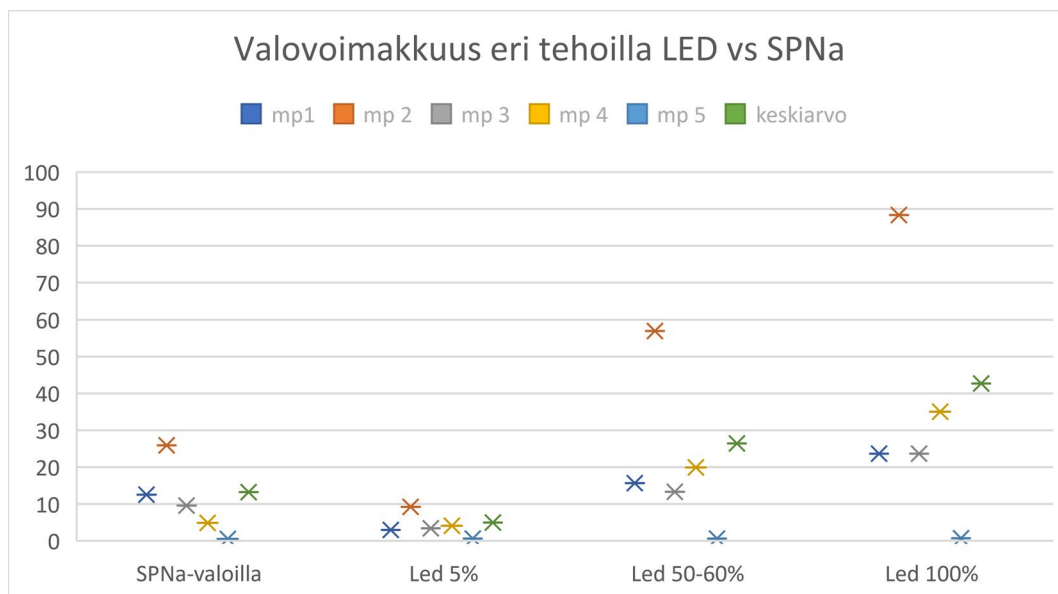
6.5 Valovoiman vertailu ennen ja jälkeen

Taulukosta (taulukko 3) näemme, että aikaisempi valovoima ylitettiin uusilla valoilla selkeästi jo ”puoliteholla”. Mastot 1. ja 2. ajettiin 60 % teholla ja mastot 3. ja 4. 50 % teholla. Valovoima ylitti alkutilanteen jopa nelinkertaisesti 4. mittapisteellä, jossa uusia valoja ajettiin 50 % teholla.

Taulukko 3. Valomittaukset ennen ja jälkeen, eri valaisimilla.

Tahkoluoto SNPa ja LED lux						
Mittapaikka	1	2	3	4	5	keskiarvo
SPNa-valoilla	12,5	25,9	9,5	4,8	0,5	13,2
Led 5%	2,9	9,2	3,4	4,1	0,6	4,9
Led 50-60%	15,6	56,9	13,3	19,9	0,6	26,4
Led 100%	23,6	88,3	23,6	35	0,7	42,6

Kuvasta (kuva 12) käy hyvin ilmi, kuinka paljon enemmän valoa ledit tuottivat eri tehoilla verrattuna lähtötilanteeseen. Kaaviosta näkee myös kaikkien mitta-
pisteiden lux -keskiarvon. Ledien 50–60 % tehon lux-keskiarvo on suurempi kuin yksikään vanhoilla SPNa-valoilla mitattu Lux-lukema.



Kuva 12. Mittauspaikkojen lux-arvot, SPNa:lla ja ledit eri tehoilla.

7 ENERGIAMITTAUS

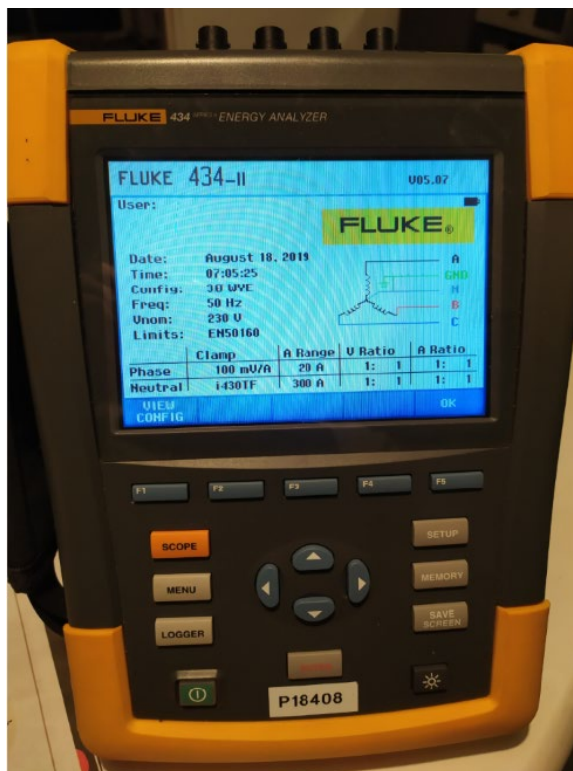
Valojen kuluttama energia mitattiin energia-analysointilaitteella (kuva 13) laiturikentällä olevasta sähkökaapista (kuva 12). Valojen kytkentä oli alkuun hieman epäselvä, ja sen takia jokaista valoa, eikä ryhmää ole voitu mitata erikseen. Mutta lopputulokseen riittää, että mittaukset tehtiin samoista paikoista samalla tavalla, ja näin ollen tulokset ovat keskenään vertailukelpoisia.



Kuva 12. Erään valoryhmän syöttö ja sulakkeet 100A

7.1 Energiamittauksessa käytetyt laitteet

-Virta, jännite ja taajuusmittaukset tehtiin energia-analysaattorilla: Fluke434 sr2. Kyseinen Fluke on erittäin suorituskykyinen mittari, joka mahdollistaa mm. harmonisten säröjen, vaihesiirtymän ja loissähkön mittaamisen. Tehonmittaus tapahtui pihtimallisilla virtamuuntimilla, sekä samanaikainen jännitemittaus hauenleuoilla.



Kuva 13. Energia-analysaattori

7.2 Energiamittauksen tulokset

Vaihevirrat on mitattu osin Jussi Aaltosen toimesta, koska hän oli paikalla työnpuolesta ja tiesi oikeat mittauspikat. Virrankulutuksen lasku oli kaikkien tiedossa, mutta yllättävää oli, miten pienellä virralla ledit tuottavat jo valoa. Virran kulutuksen noustessa valovoima ei kasva samassa suhteessa, joten valoja ajetaan osateholla silloinkin, kun ne ovat ns. täysillä päällä.

Vaihekohtaiset kuormat ovat tasoittuneet, eli valaisimet on asennettu tasaisesti eri vaiheiden kesken, suurin ero on 7 A. Ennen pahimmat vinokuormat olivat 3. mastolla, jossa vaiheiden L1 ja L3 välillä oli eroa 30 A, joka on jo huomattava vinokuorma valaisinasennuksessa. Tässä työssä en ota enempää kantaa vaihekuormiin, kuin toteamalla, että ne ovat nyt tasaiset. Mielenkiintoisempaa on mitatut kulutukset ennen ja jälkeen. Vanhan järjestelmän tehonkulutus oli 79 kW, kun uusilla valoilla 5 % teholla kuorma on vain 5,6 kW.

Taulukko 4. SPNa valojen virrankulutukset.

Mittaukset 12/2019					
Masto	L1	L2	L3	Yhteensä (A)	TEHO
1	20,4 A	43,4 A	28,3 A	92,1 A	21,2 kW
2	39,7 A	31,2 A	26,6 A	97,5 A	22,4 kW
3	13 A	42,1 A	43 A	98,1 A	22,6 kW
4	21,9 A	19,3 A	14,5 A	55,7 A	12,8 kW
YHT.				343,4 A	79,0 kW

Uusilla valaisimilla on tehty kolme eri mittausta kulutuksesta, jonka lisäksi pohjakuorman mittaus, joka vaihteli 0,56–1,45 A välillä vaihetta kohden. Pohjakuormassa on mukana ledien liitälaitteet ja signaalintoistimet, sekä mahdollisesti muuta mastossa olevaa elektroniikkaa. Pohjakuorman määräytyminen kiinnostaisi, mutta ympäristön takia kukaan ei tiedä tarkalleen, mitä kaikkea vaiheiden taakse on kytketty. Kuorma on niin pieni kokonaisuuteen nähden, ettei se vaikuta tämän työn lopputulokseen.

Taulukko 5. Led-valojen virrankulutus eri tehoilla.

Mittaukset 3/2021					
Masto	L1	L2	L3	Yhteensä (A)	TEHO
1					
100 %	22,73 A	22,03 A	22,05 A	66,81 A	15,4 kW
60 %	12,82 A	12,38 A	12,40 A	37,60 A	8,6 kW
5 %	2,51 A	2,21 A	1,92 A	6,64 A	1,5 kW
2					
100 %	29,21 A	28,55 A	21,37 A	79,13 A	18,2 kW
60 %	16,78 A	16,28 A	12,35 A	45,41 A	10,4 kW
5 %	2,88 A	2,58 A	2,08 A	7,54 A	1,7 kW
3					
100 %	21,91 A	21,45 A	21,61 A	64,97 A	14,9 kW
50 %	9,80 A	10,21 A	10,06 A	30,07 A	6,9 kW
5 %	1,72 A	1,22 A	1,69 A	4,63 A	1,1 kW
4					
100 %	21,41 A	21,78 A	21,71 A	64,90 A	14,9 kW
50 %	10,57 A	10,17 A	10,18 A	30,92 A	7,1 kW
5 %	1,96 A	1,70 A	1,74 A	5,40 A	1,2 kW
YHT.				100 %	275,81 kW
				50,60 %	144,00 kW
				5 %	24,21 kW

7.3 Energiankulutuksen vertailu

Kuten kuvasta (kuva 12) näkee, virrankulutus on tippunut merkittävästi. Täydellä teholla ajettaessa ledit vievät energiaa 19,8 % vähemmän kuin vanhat valaisimet, valaistustehon ollessa kuitenkin jopa 223 % tehokkaampi. Ns. puolella teholla valaistus on tasan 100 % tehokkaampi kuin vanha, mutta energiaa säästyy silti 58 %.

8 NÄKÖAISTIMINEN

Numerojen valossa valaistuksen uusinta on ollut kannattavaa, ja sillä on säästetty toivotut tavoitteet, mutta numerot eivät kerro koko totuutta. Valaistuksen laadun parantuminen on myös iso tekijä valovoiman lisäksi.

8.1 Valokuvaus

Valokuvat otin käyttäen puhelimeni kameraa. Puhelin oli Xiaomi Redmi Note 7. Kuvakoko maltillinen 3000 * 4000 pikseliä, kiinteät asetukset: Aukko f/1.8, valotus 1/30 sekuntia, ISO-400, polttoväli 5 mm. Näin ennen ja jälkeen otetut kuvat ovat vertailukelpoisia keskenään. Ainoastaan valkotasapaino on kuvissa eri, johtuen valojen ja ympäristön värisävystä. Kuvia ei ole muokattu muutoin kuin kallistusta korjaamalla ja rajaamalla. Kuvia liitteessä 1.

8.2 Näkeminen

Valaistustekniikan suureet perustuvat päivänäkemiseen. Päivänäkeminen tapahtuu silmässä olevien tappisolujen avulla. Hämäränäkeminen perustuu taas puolestaan silmässä oleviin sauvasoluihin.

Mesooppisessa näkemisessä sauva- ja tappisolut toimivat samaan aikaan. Silloin näköaistiin vaikuttaa sekä päivänäön tappisolut että hämäränäkemisen

sauvasolut. Näin tapahtuu ulkovalaistuksessa. Silmien sopeutumisluminanssitason laskiessa silmän herkkyys virittyy enemmän lyhyempien aallonpituuksien suuntaan, eli siniseen väriin päin. (ST 57.40 s. 2) Tämän takia LED-valaistuksen luonnollisen valkoinen valo sopii hämärässä näkemiseen paremmin, kuin vanhan valaistuksen oranssi valo. Tämän parannuksen huomaa omin silmin hyvin kuvista.

8.3 Häikäisy

Häikäisy ilmenee silloin, kun näköaisti ei kykene sopeutumaan näkökentän erilaisiin luminanssitasoihin. Häikäisy voi olla joko suoraa, kun valoa tulee silmiin suoraan jostain valonlähteestä, tai se on epäsuoraa, kun valo heijastuu jostain pinnasta. (ST 57.40 s. 2)

Satama-alueella työskennellessä häikäisyä voi tulla lähinnä vain heijastuksena, koska valot on asennettu niin korkealle, ettei ne suoraan häikäise maan tasalla työskenteleviä. Tätä työtä aloittaessa oli tarkoitus tarkastella satamaa myös mereltä päin, suunnasta, josta laivat lähestyvät satamaa, kasvaako siihen suuntaan häikäisy uusien valojen myötä. Vanhat valaisimet aiheuttivat silloin lievää hajavaloa meren suuntaan.

Omat havainnot uusista valoista on, että ne häikäisevät enemmän, johtuen luultavasti suuremmasta valovoimasta ja valon suuremmasta intensiteetistä. Kuvat 14. ja 15. on otettu samoilla kameran asetuksilla.



Kuvat 14. ja 15. Tahkoluodon laituri, vasemmalla vanhoilla ja oikealla uusilla valoilla.

9 TULOKSET JA PÄÄTELMÄT

Valaistuksen uusiminen sai alkunsa siitä, että vanhat valot olivat likaiset, niitä vikaantui usein ja niiden korjaus ja puhdistaminen olisi ollut kallista, ne olivat käyttökänsä päässä. Lisäksi niiden valoteho ei ollut enää nykymittapuulla riittävä. Valoja joutui pitämään ajastetusti päällä, koska niiden sytyttäminen täyteen valoon kesti kauan ja sammuttelu lyhensi niiden ikää entisestään.

Mittausten perusteella uusi LED-valaistus on jo puolella teholla tuplasti valovoimaisempi kuin vanha valaistus. Kustannussäästöä tulee, koska sähkön kulutus on tippunut puoleen ja valaistuksen valovoima on kaksinkertaistunut. Työviihtyvyys on parantunut, koska valaistu alue näyttää valkoisen valon ansiosta luonnolliselta ja näkeminen on helpottunut. Tämän lisäksi valot saadaan kytkettyä tarvittaessa välittömästi päälle, ilman odottelua. Nykyään alueella voidaan käyttää hämärässä aina himmeää pohjavalolaistusta, joten alueella ei ole enää koskaan täysin pimeää. Oletusarvoisesti ledit vikaantuvat erittäin harvoin ja niiden odotettu käyttöikä on varsin pitkä. Näiden mittausten valossa voimme todeta, että valaistusuudistus on ollut varsin onnistunut ja kannattava projekti kaikin puolin.

10 LÄHTEET

Fagerhult. (2023). DALI – standardisoitu digitaalinen valonohjausprotokolla. Viitattu 3.10.2023 <https://www.fagerhult.com/fi/valonohjaus/e-sense-customised/dali/>

Fluoresenssi. (2023). Wikipedia Foundation. Viitattu 3.10.2023 <https://fi.wikipedia.org/wiki/Fluoresenssi>

Heikkinen, T. (2019). OneDrive-jako. Porin sataman aluevalaistuksen muutostmittaus v3.docx

Hidealite. (2023). LED-Koulu. Viitattu 3.10.2023 <https://www.hidealite.com/fi-fi/tuki/led-koulu>

Karttapaikka. (2019). Maanmittauslaitos. Haettu 2019. <https://www.maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto/kartat/katsele-ja-lataa-karttoja>

LED. (2023). Wikipedia Foundation. Viitattu 3.10.2023 <https://fi.wikipedia.org/wiki/LED>

Ledsupply. (2023). Wiring LEDs Correctly: Series & Parallel Circuits Explained! Viitattu 5.10.2023 <https://www.ledsupply.com/blog/wiring-leds-correctly-series-parallel-circuits-explained/>

Philips. (2023). OptiVision LED Datasheet. Viitattu 5.10.2023 https://www.lighting.philips.fi/api/assets/v1/file/Signify/content/fp912300060438-pss-fi_fi/Localized_commercial_leaflet.pdf

Philips a. (2023). OptiVision LED. Viitattu 11.10.2023 https://www.lighting.philips.com/prof/outdoor-luminaires/sports-and-area-floodlighting/area-and-recreational-floodlighting/optivision-led-gen35/912300060437_EU/product

Porin satama. (2016). Viitattu 11.10.2023. <https://web.archive.org/web/20160306152543/http://www.portofpori.fi/satamainfo/esittely>

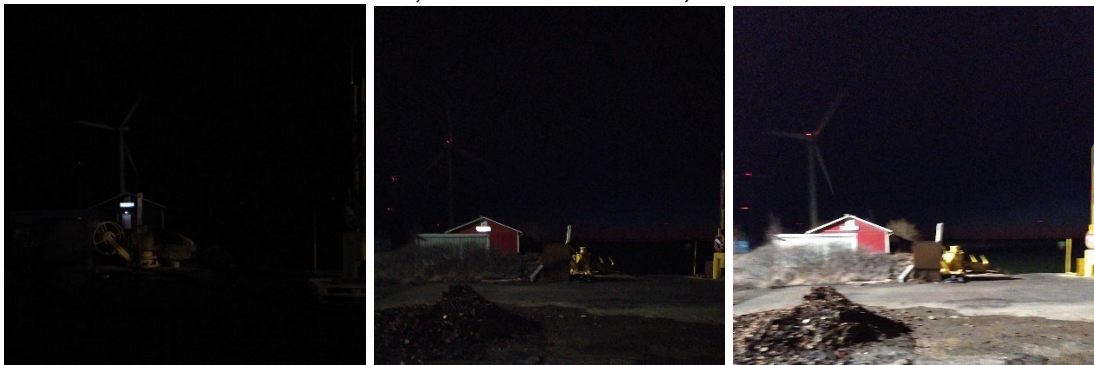
Räisänen, H. (2020). Sähköposti 1.7.2020. Tarjousvertailu 2020_final.xlsx

ST 57.40. (2023). Valaistustekniikan perussuureet ja määritelmät <https://severi.sahkoinfo.fi/>

LIITE 1: ENNEN JA JÄLKEEN -KUVATRIPLOJA



Vasen kuva vanhoilla valoilla, keskellä LED 5 %, oikealla LED 100 %



Vasen kuva vanhoilla valoilla, keskellä LED 5 %, oikealla LED 100 %