

Timo Korkalainen

JÄÄHALLIN  
VALAISTUKSEN UUSINTA  
LEDEILLÄ

Opinnäytetyö  
Sähkötekniikan koulutusohjelma


Toukokuu 2013




**MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU**

Mikkeli University of Applied Sciences

## KUVAILULEHTI

 <b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> Mikkeli University of Applied Sciences	<b>Opinnäytetyön päivämäärä</b>  2.5.2013	
<b>Tekijä(t)</b> Timo Korkalainen	<b>Koulutusohjelma ja suuntautuminen</b> Sähkötekniikka	
<b>Nimeke</b>  Jäähallin valaistuksen uusinta ledeillä		
<b>Tiivistelmä</b> <p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli Kouvolan kaupungissa sijaitsevan Valkealan jäähallin purkausvalaisimien vaihtaminen ledvalaisimiksi. Työssä vertailtiin ledvalaistuksen hankinnan, käytön ja energiakustannusten laskelmia nykyiseen monimetallilampuilla toteutettuun valaistukseen.</p> <p>Työssä selvitettiin nykyinen valaistus mittaamalla valaistusvoimakkuudet kaukalossa sekä simuloimalla se Dialux-ohjelmistolla. Uusinnan tavoitteena oli suunnitella korvaava valaistus ledvalaisimella, joka täyttäisi nykyisen valaistuksen valo-ominaisuudet ja valaistusvoimakkuudet kaukalossa sekä ErP-direktiivin tulevaisuuden vaatimukset. Lopuksi työssä tarkasteltiin kustannusten kehittymistä ns. elinkaarikustannuslaskelmana. Tarkasteltavat ajanjaksot olivat 5, 10 ja 20 vuotta.</p> <p>Ledvalaistuksen investoinnissa niiden hankintahinta sekä asennuksista ja vanhan valaistuksen purkamisesta aiheutuvat kustannukset näyttelevät merkittävää osaa varsinkin ensimmäisen 5 vuoden aikana. Pidemmällä aikavälillä kustannussäästöt ja ympäristöä kuormittavat hiilidioksidipäästöt ovat kuitenkin selvästi todettavissa.</p>		
<b>Asiasanat (avainsanat)</b>  Jäähalli, Valaistus, Monimetallilamppu, Ledvalaistus, Dialux, Elinkaarikustannuslaskelma		
<b>Sivumäärä</b> 45+16 liitettä	<b>Kieli</b> Suomi	<b>URN</b>
<b>Huomautus (huomautukset liitteistä)</b>		
<b>Ohjaavan opettajan nimi</b>  Hannu Honkanen	<b>Opinnäytetyön toimeksiantaja</b>  Kouvolan kaupunki, Valkealan jäähalli	

## DESCRIPTION

 <p><b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> Mikkeli University of Applied Sciences</p>		<b>Date of the bachelor's thesis</b>  2.5.2013	
<b>Author(s)</b>  Mr. Timo Korkalainen		<b>Degree programme and option</b>  Electrical engineering	
<b>Name of the bachelor's thesis</b>  State of the art ice rink lightning with LEDs			
<b>Abstract</b>  <p>The purpose of this work was to replace the metalhalidelamps of an icehockey hall with LED lights. The commissimer wants to achieve financial savings with this.</p> <p>I studied the present lightning and measured the luminous efficiency. I simulated both new and old lightning with Dialux programme. I also calculated life-cycle costs.</p> <p>The study shows that LED lightning is more economical. It saves energy and CO<sub>2</sub> emissions are lower.</p>			
<b>Subject headings, (keywords)</b>  Ice rink,Lightning,Metal halide lamp,Ledlightnig,Dialux,Life-cyckle cost calculation			
<b>Pages</b> 45+16 enclosure		<b>Language</b> Finnish	
<b>URN</b>			
<b>Remarks, notes on appendices</b>			
<b>Tutor</b>  Mr. Hannu Honkanen		<b>Bachelor's thesis assigned by</b>  City of Kouvola, Valkealan ice rink	

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	1
2	VALAISTUSSUUREET .....	2
2.1	Valovoima I [cd] .....	2
2.2	Valovirta $\Phi$ [lm] .....	2
2.3	Valaistusvoimakkuus E [lm/m <sup>2</sup> ] .....	3
2.4	Luminanssi L [cd/m <sup>2</sup> ] .....	3
3	MUUT MÄÄRITELMÄT .....	4
3.1	Teho P [W] .....	4
3.2	Valotehokkuus [lm/W] .....	4
3.3	Elinikä eli polttoaika t [h] .....	4
3.4	Energiatehokkuusluokka .....	4
3.5	Väriämpötila [K] .....	5
3.6	Värintoistoindeksi Ra .....	5
4	DIALUX-OHJELMA .....	6
5	JÄÄHALLIT SUOMESSA .....	7
5.1	Jäähallien historiaa .....	7
5.2	Valkealan jäähalli .....	7
6	JÄÄHALLIN VALAISTUS .....	7
6.1	Yleistä .....	7
6.2	Valaistuksen suunnittelu .....	8
6.3	Valaistusvoimakkuuden vaatimukset katsomolle .....	9
6.4	Urheilutilojen valaistusluokat .....	11
6.5	Jäähallin valaistusvaatimukset .....	12
6.6	Nykyisen valaistuksen valaistusvoimakkuus .....	13
7	NYKYINEN VALAISTUS .....	14
7.1	Valaisin .....	14
7.2	Valaisimen verkkoliitäntä .....	16
7.3	Kuristin .....	16
7.4	Sytytin .....	17
7.5	Jännitevaihteluiden vaikutus toimintaan .....	17
7.6	Monimetallilamppu .....	19

7.6.1	Rakenne.....	19
7.6.2	Purkausputki .....	20
7.6.3	Purkausputken täyteaineet .....	21
7.6.4	Purkausputken läpiviennit ja elektrodit .....	21
7.6.5	Ulkokupu.....	21
7.7	Väriämpötila ja Ra-indeksi .....	22
7.8	Uv säteily.....	23
7.9	Monimetallilampun tehojakauma .....	23
7.10	Monimetallilampun valaistustehokkuuden heikkenemä.....	23
7.11	Monimetallilampun säätäminen.....	24
8	UUSI VALAISTUS .....	24
8.1	Led .....	24
8.2	Historia .....	25
8.3	Kehitys.....	25
8.4	Ledin rakenne .....	28
8.4.1	Runko.....	29
8.4.2	Led siru .....	29
8.4.3	Linssi.....	30
8.4.4	Lämmönjohdin.....	30
8.5	Ledin toimintaperiaate .....	31
8.6	Muut ominaisuudet .....	32
8.7	Valaisin.....	33
8.7.1	Uuden valaistuksen toteutus .....	34
9	ELINKAARIKUSTANNUSLASKELMAT .....	34
9.1	Ledvalaistuksen investointikustannukset.....	35
9.2	Säästöt.....	35
9.3	Kokonaiskustannukset 5 vuotta .....	38
9.4	Kokonaiskustannukset 10 vuotta .....	39
9.5	Kokonaiskustannukset 20 vuotta .....	40
9.6	Sähkönsäästö ja päästöt .....	40
10	YHTEENVETO .....	42
	LÄHTEET.....	44

## LIITTEET

- 1 Nykyinen valaistus mittaustulokset
- 2 Nykyinen valaistus
- 3 Ledvalaistus

## 1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan Valkealan jäähallin valaistuksen uusintaa. Työn idea lähti liikkeelle ilmoituksesta, jossa Kouvolan kaupunki ilmoitti aikovansa alkaa perimään harrastajilta urheilutilojen käyttömaksuja. Jäähallin käytäväkeskusteluissa syntyi ajatus, millaisia säästöjä olisi mahdollista saada aikaiseksi esimerkiksi uusimalla nykyinen valaistus energiatehokkaammaksi. Varsinkin tällä hetkellä näkyvästi esillä oleva led-valaistus tuntui varteenotettavalta vaihtoehdolta. Työn tarkoituksena on verrata nykyistä monimetallilampuilla toteutettua valaistusta led-valaistukseen ja selvittää valaistuksen uusinnan mukanaan tuoma energiansäästö sekä hiilidioksidipäästöjen väheneminen.

Jäähallien led-valaistusuusintoissa suomalaisyritys Easy led Oy on tällä hetkellä edelläkävijä. Siitä osoituksena Euroopan ensimmäinen kokonaan led-valaisimilla toteutettu jäähalli Helsingin Vuosaarella oleva Aimo Mäkinen arena, joka on valmistunut vuonna 2011. Tästä syystä vertailukohdevalaisimeksi valittiin Easy led Oy:n valmistama valaisin. Laskelmissa käytin apuna Easy led Oy:n kustannuslaskureita.

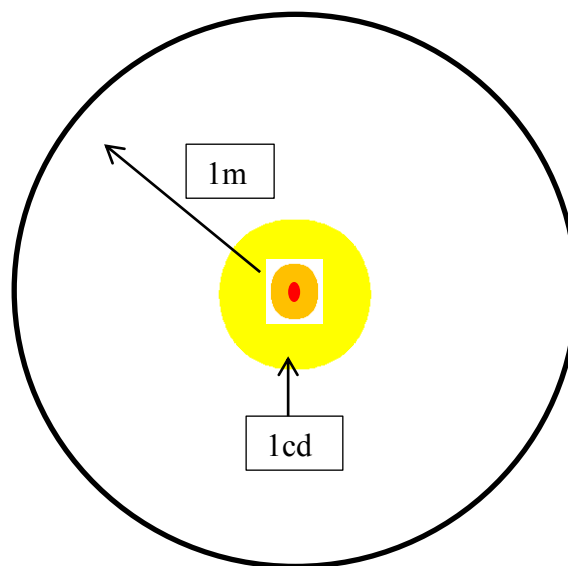
## 2 VALAISTUSSUUREET

### 2.1 Valovoima I [cd]

Perussuure, josta muut valaistussuureet on johdettu, on valovoima[I]. Valovoiman yksikkö on candela[cd]. Valovoima kuvaa valonlähteestä tiettyyn suuntaan säteilevän valon voimakkuutta, intensiteettiä. Aikaisemmin normaali kandela määriteltiin tietys- sä lämpötilassa ja paineessa olevan mustan kappaleen avulla. Nykyinen valovoiman määritelmä kuuluu sanatakkasti seuraavasti: ”Valonlähteen valovoima tiettyyn suun- taan on yksi candela[1cd]siltoin, kun valonlähde säteilee monokromaattista,  $540 \cdot 10^{12}$  Hz:n taajuista säteilyä ja sen säteilyteho tähän suuntaan on  $1/683 \text{ W/sr}$ ”./1, s.34 - 35./

### 2.2 Valovirta $\Phi$ [lm]

Valovirran yksikkö on lumen [lm]. Kuvassa 1 on esitetty tasaista säteilyä lähettävä valovoimaltaan 1cd:n pistemäinen valonlähde, joka on asetettu pallon keskipisteeseen jonka säde on 1m. Oletuksena on, että valonlähde säteilee valovirtansa[  $\Phi$ ] tasaisesti kaikkiin suuntiin. Kyseisessä tapauksessa tämä tarkoittaa siis 1candelan valovoimak- kuudella tasaisesti säteilevän valonlähteen aiheuttamaa valoenergian virtausnopeutta pallon pinnalle, jonka säde on 1metri.



**KUVA 1. Tasaista säteilyä lähettävä pistemäinen valonlähde, jonka valovoima kaikkiin suuntiin on 1 candela /1, s.35/**

Koska pallon pinta-ala  $4\pi r^2$  saadaan yhtälöstä kyseisessä tapauksessa valonlähteen aiheuttamaksi kokonaisvalovirraksi  $4\pi$  lm, joten tasaisesti säteilevän valovoimaltaan 1 candelan pistemäisen valonlähteen tuottama valovirta on  $4\pi$  lm. Luonteeltaan valovirta on säteilytehoa, joten luumen vastaa dimensioltaan tehon yksikköä wattia[W]. Yksinkertaistaen sanottuna valovirta on silmän spektriherkkyydellä painotettu valonlähteen näkyvän valon alueen säteilyteho./1, s.35./

### 2.3 Valaistusvoimakkuus E [lm/m<sup>2</sup>]

Pinnalle saapuvan valovirran tiheyttä kutsutaan valaistusvoimakkuudeksi. Valaistusvoimakkuudelle voidaan kirjoittaa yhtälö:

$$E = \frac{\Phi}{A} \quad (1)$$

jossa  $\Phi$  on pinnalle tuleva valovirta ja  $A$  on pinnan ala. Valaistusvoimakkuuden yksiköksi saadaan siis luumenia per neliometri [lm/m<sup>2</sup>] eli luksit [lx]. Pallon pinnalle, joka oli esitetty kuvassa 1, saapui siis valovirta  $4\pi$  lm. Koska pallon pinta-ala on  $4\pi r^2$ , saadaan yhtälöstä  $E = \frac{\Phi}{A}$  valaistusvoimakkuudeksi pallon pinnalla 1 lx./1, s.36./

### 2.4 Luminanssi L [cd/m<sup>2</sup>]

Luminanssi eli valotiheys kuvaa sitä valoa, jonka pinta heijastaa tai säteilee ja jonka silmä aistii eli kysymyksessä on pinnalta poispäin lähtevä valovirta. Luminanssin yksikkönä käytetään cd/m<sup>2</sup>. Ihmisestä pinta näyttää sitä kirkkaammalta, mitä suurempi sen luminanssi on./2./

### 3 MUUT MÄÄRITELMÄT

#### 3.1 Teho P [W]

Teho kertoo, kuinka paljon laite tai lamppu kuluttaa sähköä. Tehon yksikkö on watti [W]. Sen sijaan se ei kerro valon määrää, mihin vaikuttaa oleellisesti myös lampun valotehokkuus (lm/W). Valaisimissa on ilmoitettu lampun maksimiteho, joka kertoo, kuinka suuren lampun valaisimeen saa maksimissaan asentaa./2./

#### 3.2 Valotehokkuus [lm/W]

Lampun valotehokkuus, jonka yksikkönä käytetään [ lm/W] kertoo, kuinka paljon valovirtaa [lm] yksi watti (W) sähköä tuottaa. Polttoiän ohella lampun tärkein tekninen ominaisuus./2./

#### 3.3 Elinikä eli polttoaika t [h]

Lamppujen elinikä eli polttoaika ilmoitetaan yleensä tunteina [h]. Esimerkiksi hehku-lampuilla tyypillinen polttoikä on 1000 h. Kaikki muut lampputyypit ovat hehkulamp-puja pidempi-ikäisiä, toiset jopa monikymmenkertaisesti. Lampun elinikä ilmoitetta-essa voidaan ajanjaksona käyttää myös vuosia. Lampun valmistajat ovat sopineet, että 1000 h poltto vastaa yhtä vuotta./2./

Ilmoitettu lampun polttoaika on keskiarvo, ei lupaus lampun kestoikästä. Lampun käyt-töiän ilmoittaminen perustuu IEC- standardin mukaisiin mittausjärjestelyihin, joissa testatuista lampuista 50 % on palanut vielä ilmoitetun tuntimäärän jälkeen./2./

#### 3.4 Energiatehokkuusluokka

EU:n lamppujen energiatehokkuusmerkintä luokittelee lamput huomioiden valotehok-kuuden [lm/W] ja polttoiän [h]. Lamput on luokiteltu siten, että energiatehokkain luokka on A ja heikoin G. Hehkulamput on luokiteltu tyypillisesti luokkaan E, halo-geenilamput luokkaan D-B ja loistelamput luokkaan A-B./2./

Monimetallilamput ja ledit kuuluvat luokkaan A. Tulevaisuudessa lisää luokkia on tulossa, kuten luokat A+, A++ ja A+++./3./

Energiatehokkuusmerkintöjen luokittelu skaala alkaa olla ajastaan jälkeenjäänyt (v. 2011), kun kolme viimeistä luokkaa ovat lainvastaisia myydä, ja markkinoilla on heikoimpia A-luokan lamppeja tehokkaampiakin ratkaisuja. Uudet luokat ovat tulossa markkinoille ilmeisesti juuri led-valaistuksen kehityksen myötä./2./

### 3.5 Värilämpötila [K]

Värilämpötilan yksikkönä käytetään Kelviniä [K]. Mitä korkeampi kelvin-arvo on, sitä kylmempi ja sinertävämpi lampun tuottaman valon väri on. Julkisissa tiloissa käytetään usein kelvin-arvoltaan korkeita, sinertävän valkoisia lamppeja./4./

### 3.6 Värintoistoindeksi Ra

Värilämpötilan ohella valonlaatuun vaikuttaa myös lampun värintoistokyky. Värintoistokyky kertoo, miltä esineiden värit tulevat valossa näyttämään. Tätä värintoistokykyä kuvaamaan on määritelty värintoistoindeksi, jota kutsutaan Ra-indeksiksi./4./

Värintoistoindeksi on määriteltävissä lukuna asteikolla 0-100, missä lukema 0 tarkoittaa täysin monokromaattista valoa. Monokromaattinen valo tarkoittaa, että värit eivät toistu lainkaan. Asteikolla luku 100 tarkoittaa vastaavasti täydellistä värintoistoa. Tässä on huomioitava se seikka, että värintoistoindeksi ei ilmoita valon väriä, vaan sen taas ilmoittaa värilämpötila.

Valo, jonka värintoistoindeksi on yli 80, aistitaan yleensä luonnollisena. Valo, jonka Ra-indeksi on alle 70, koetaan vastaavasti luonnottomaksi tai värittyneeksi ja tällöin jotkin tietyt kohteet näyttävät valossa omituisilta. /2./

Yhtenä tavoitteena Ra-indeksin kehittämisessä on ollut lamppejen värintoist ominaisuuksien standardointi siten, että saman Ra- indeksin omaavat lamput, joilla on sama värilaatu (ekvivalentti värilämpötila), olisivat värintoistonsa puolesta keskenään vaihtokelpoisia /5, s.50/.

#### 4 DIALUX-OHJELMA

Kuten johdannossa mainittiin, käytän tässä opinnäytetyössä apuna Dialux-nimistä valaistuksen suunnittelu ja laskentaohjelmaa versiota 4.11.0.2. Ohjelma on ilmainen käyttää ja viimeisin versio on ladattavissa osoitteesta <http://www.dial.de/DIAL/en/dialux-international-download/suomi.html>. Ohjelmasta löytyvät lähes kaikkien valaisinvalmistajien tietokannat valmistamistaan valaisimista. Ohjelma on siitä hyvä, että siihen voi tuoda suunniteltavan kohteen pohjakuva suoraan AutoCAD:stä. Ohjelmalla voidaan helposti myös lisätä suunniteltavaan kohteeseen erilaisia objekteja todentuntuisen 3D-mallinnuksen aikaan saamiseksi. Erilaisia objekteja on luetteloituna melko kattava määrä, joita myös tässä työssä hyödynnettiin. Kun valaistus on saatu suunniteltua, niin ennen laskennan aloittamista tuloskonfiguroinnissa voidaan valita mitä tietoja halutaan laskennassa saada ulos tarkasteltavaksi. Ohjelman laskennan jälkeen on tuloksista luettavissa kulloisenkin valaistustilanteen osalta esimerkiksi käytettyjen valaisimien tarkat tiedot, valonjakokäyrät, laskettavan alueen yhteenveto, valaistusvoimakkuudet graafisena esityksenä sekä koottuna ne arvotaulukkoon. Näillä tietoarkeilla on esitetty myös yhteenveto valaistusvoimakkuuden arvoista  $E_m$ ,  $E_{max}$ ,  $E_{min}$  sekä näiden väliset suhteet  $\frac{E_{min}}{E_m}$  ja  $\frac{E_{min}}{E_{max}}$ .

Nämä edellä mainitut lyhenteet tarkoittavat seuraavaa:

$E_m$ =Keskimääräinen valaistusvoimakkuus [lx]

$E_{max}$ =Valaistusvoimakkuuden maksimiarvo [lx]

$E_{min}$ =Valaistusvoimakkuuden minimiarvo [lx]

Valkealan jäähallista ei pohjakuvaa ollut käytettävissä, joten kaukalonvalmistaja Pro-Rink Oulaisista toimitti kaukalon pohjakuvan oikealla mitoituksella dwg-muodossa. Dialux-ohjelmalla määrittelin hallialueen rajat sekä tilan korkeuden kaukalon ympärille. Easy led Oy:n valaisintietokannat tilasin valmistajalta suoraan sähköpostiini, josta siirsin ne Dialux-ohjelmaan. Ohjelmalla sain simuloitua peliareenan osalta nykyisen ja uuden valaistuksen, sekä molemmista tapauksista laskennan tulokset saatiin tarkasteltavaksi. Nämä tiedot on esitetty liitteissä 2 ja 3.

## **5 JÄÄHALLIT SUOMESSA**

### **5.1 Jäähallien historiaa**

Ensimmäinen Suomeen rakennettu jäähalli valmistui Tampereen Hakametsään vuonna 1965, joka toimi myös päänäyttämönä ensimmäisissä Suomessa järjestettävissä jääkiekon MM-kisoissa /6/.

Tällä hetkellä Suomessa on 1.10.2012 olevan listauksen mukaan 218 jäähallia. Näissä 218 hallissa on yhteensä 256 kaukaloa /7/.

### **5.2 Valkealan jäähalli**

Valkealan jäähalli on rakennettu vuonna 1993. Halli on rakenteeltaan ns. harjoitusjäähalli. Harjoittelun lisäksi hallissa pelataan jääkiekon 2-divisionaa. Halli toimii Valkealan-kiekon (Valki) edustusjoukkueen kotihallina. Hallissa on seisomakatsomo arviolta n. 300 henkilölle ja pieni kahvio, jossa on n. 60 asiakaspaikkaa.

## **6 JÄÄHALLIN VALAISTUS**

### **6.1 Yleistä**

Jäähallien peliareenoiden valaistus on toteutettu pääosin monimetalli- tai elohopeahöyrylampuilla varustetuilla valaisimilla. Tyypillisesti näiden lamppujen tehot vaihtelevat välillä 250W-1000W. Suuremmissa halleissa on käytetty myös 2000W valonlähdettä. Uusien energiaa säästävien valaistus tekniikoiden myötä markkinoille on tullut varteenotettavaksi vaihtoehdoksi korvata nämä huomattavasti enemmän energiaa kuluttavat valaisinmallit led-valaisimilla. Monissa kaupungeissa ja kunnissa onkin lähdetty uusimaan vanhoja valaistuksia nykyaikaisemmiksi ja uusimisen tarpeen kasvu näyttää kiihtyvän. Hallit, joissa valaistus on toteutettu elohopeahöyrylampuilla, ovatkin uusinnan edessä ErP (Energy related Products) direktiivin 2009/125/EC mukaan. Tässä direktiivissä käsitellään valaistustuotteita koskevia toimenpiteitä niin kotivalaistuksen kuin palvelusektorin valaistuksen osalta. Direktiivissä, joka on annettu

vuonna 2009, todetaan mm. elohopeahöyrylamppujen osalta niiden poistuvan markkinoilta kokonaan vuonna 2015./3./

Tästä syystä varsinkin harjoitusjäähallien osalta led-valaistus tarjoaa hyvän vaihtoehdon vanhalle valaistukselle. Tosin jo nyt voidaan suurhallinkin valaistus toteuttaa uuden teknologian led-valaisimilla, joiden valotehokkuus riittää tähän tarkoitukseen varsin hyvin. Onkin mielenkiintoista nähdä, mikä kaupunki Suomessa, missä pelataan SM-liigaa, ehtii ensimmäisenä tässä asiassa liikkeelle.

## 6.2 Valaistuksen suunnittelu

Jääkiekkokaukalon niin kuin muidenkin urheilupaikkojen valaistusta suunniteltaessa on pyrkimyksenä pelivälineen, urheilijan ja sen taustan välille luomaan sellainen kontrasti, että tavallisimmista katsomiskulmista sekä pelaajat että katsojat kykenevät havaitsemaan pelivälineen sekä toisen pelaajan helposti. Tärkeimpänä vaatimuksena on, että ainakin urheilijoiden toiveet tulevat täytetyksi./8, s.72./

Lisäksi korkeatasoinen valaistus on jääkiekkokaukalossa tarpeellinen siksi, että peli on nopealiikkeistä ja itse peliväline on pienikokoinen. Liikkuvien havaintokohteiden näkyvyys riippuu niiden koosta, luminanssista, havaintoetäisyydestä, luminanssikontrastista kohteen ja taustan välillä sekä ympäristön luminanssista./8, s.109./

Jääkiekossa pelin kannalta tärkeitä kohtia ovat kentän laidat sekä maalialue, joiden valaistukseen on kiinnitettävä erikoista huomiota. Näkötehtävistä vaikein jääkiekossa on kiekon erottaminen taustaltaan lyhyessä ajassa. Kun peliä on pelattu jonkin aikaa, jään pinta peittyy eräänlaisella jäähileellä ja näin ollen kentän pinta tulee hajaheijastavaksi. Kiekon havaittavuutta voidaan kuitenkin lisätä kasvattamalla kiekon ja kentän pinnan välistä kontrastia. Taustan luminanssin (horisontaalisen valaistusvoimakkuuden) kasvattaminen parantaa kiekon havaittavuutta, samalla kun se sopeuttaa silmää suurempaan näkötehokkuuteen. Kuitenkaan jyrkkiä luminanssin muutoksia ei saa olla havaittavissa sillä pinnalla, jota vasten peliä seurataan. Jääkiekkokenttien suositeltavat valaistusvoimakkuudet ja valaistusvoimakkuuden tasaisuudet ovat esitetty myöhemmin luvussa 5.5 esitetyssä taulukossa 2./8, s.109 - 110./

Urheilussa näkökohteiden koko, heijastumissuhteet, liikeradat, nopeudet jne. vaihtelevat urheilulajista riippuen melko suurella skaalalla. Kohteen koko saattaa vaihdella ihmisestä golfpalloon ja heijastumissuhde 1 % (jääkiekko)80 % (golfpallo). Havainnoitava kohde voi olla paikallaan tai sen nopeus voi olla peräti 47 m/s (jääkiekko). Havainnoitavan kohteen värit saattavat vaihdella harmaan sävyistä peliasujen monenkirjaviin väreihin. Kaikki nämä tekijät vaikuttavat omalta osaltaan suorituspaikan valaistusvaatimukseen ja johtavat käytännöllisesti katsottuna erilaisiin valaistussuosituksiin ja ratkaisuihin eri urheilulajeilla. Monissa urheilulajeissa tausta, jota vasten kohdetta joudutaan tarkkailemaan, käsittää kaikki kohteen ylä- ja alapuolella sekä sivuilla olevat pinnat. Katseen ollessa kiinnitettynä esim. ilmassa lentävään pelivälineeseen tai kohteeseen, joka liikkuu nopeasti paikasta toiseen, on taustan luminanssin ja värien vaihtelu varsin nopeaa. Tämä on selitettävissä sillä, että harvoin taustan luminanssi ja värijakautuma on riittävän tasainen./8, s.72./

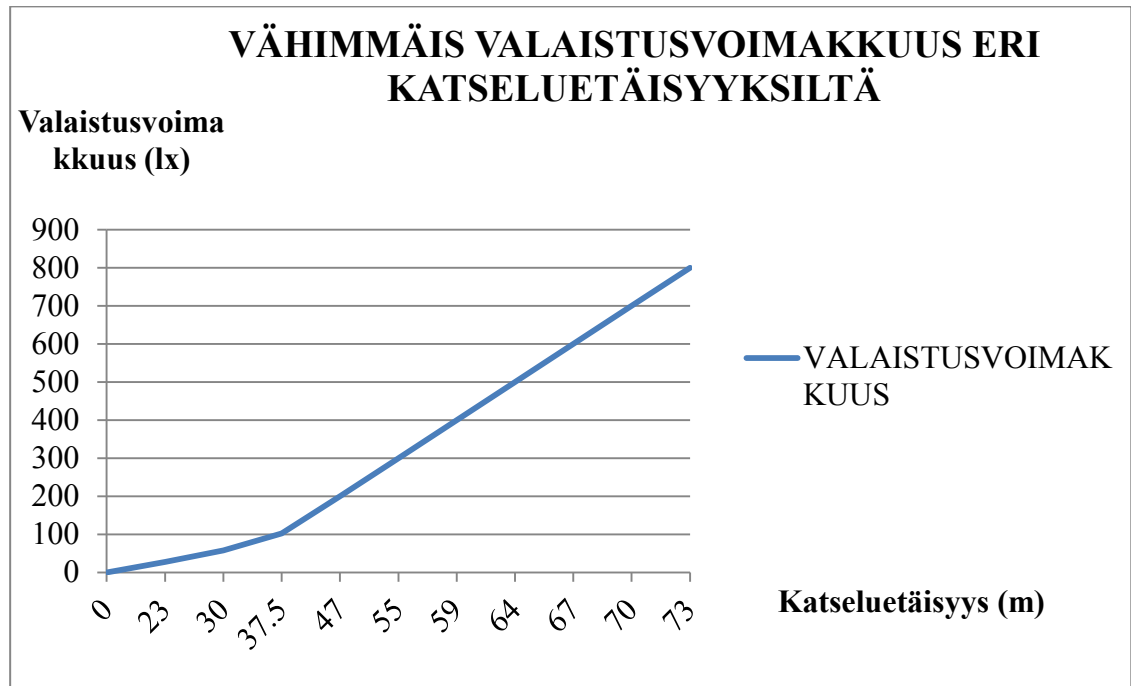
Kuten kappaleen alussa sanottiin, niin jääkiekossa kuin myös muissa urheilutapahtumissa näkötyötä suorittavat urheilijoiden itsensä lisäksi myös toimitsijat ja paikalla olevat katsojat, joiden läsnäolo merkitsee valaistusvaatimusten kasvamista ja vaatimustaso lisääntyy entisestään, jos hallissa suoritetaan urheilutapahtuman televisiointia sekä kuvaamista./8, s.72./

Urheilutapahtumissa näiden eri havaitsija ryhmien paikat näkökohteen kuin katsekenttien suhteen poikkeavat olennaisesti toisistaan. Siispä voidaankin ajatella, että vaikka valaistus suunnitellaan hyväksi yhtä ryhmää ajatellen, niin ei se saa aiheuttaa haittaa muille havaitsijoille/8, s.72 - 73./

### **6.3 Valaistusvoimakkuuden vaatimukset katsomolle**

Jäähalleissa, jotka ovat varustettu katsomolla, tulee valaistusvoimakkuuden olla niin suuri, että jokainen katsoja kykenee erottamaan selvästi urheilijat ja pelivälineen, olivatpa ne missä tahansa kohti kenttää. Jos katseluetäisyys on lyhyt ja näkyvien kohteiden yksityiskohdat ovat suuria, riittää monesti pienempi valaistusvoimakkuus kuin päinvastaisessa tapauksessa. Yleensä pelaaja itse joutuu tarkkailemaan vain suhteellisen lähellä itseään olevia tapahtumia. Tästä johtuen, kun valaistusvoimakkuus määritellään katsojan näkökulman mukaan, niin se riittää myös itse pelaajille./8, s.73./

Kaaviossa 1 on esitetty vaakatason vähimmäisvalaistusvoimakkuus näköetäisyyden ja näkökohteen (jäkiekko) mukaan



**KAAVIO 1. Valaistusvoimakkuuden vaatimukset katsojan näkökulmasta /8, s.73/**

Valkealan jäähallissa suurin mitattu katseluetäisyys on n. 65 m, joten vähimmäisvalaistusvoimakkuudeksi saadaan kaavio 1 mukaan n. 500 lx. Monesti harjoittelu- ja virkistyskäyttöön tarkoitetuissa halleissa ei kuitenkaan ole niin paljon katsojia, joten näissä halleissa voidaan usein tyytyä pienempiin valaistustasoihin. Siksi ottelutilanteen valaistusta ei monesti välttämättä tarvita. Näissä tapauksissa voidaan valaistusvoimakkuus, jos mahdollista, säätää tätä tarkoitusta varten erikseen, vaikka itse pelaajan kannalta näkötehtävät harjoittelussa säilyvät samanlaisina kuin otteluissa./8,s.73./

Useimmille urheilulajeille, kuten myös jäkiekolle, on SFS-standardin 608 taulukoissa A.1-A.28 ilmoitettu vain vaakatason valaistusvoimakkuus, vaikka näkemisen kannalta pystytason valaistusvoimakkuus olisi monesti merkittävämpi. Tämä käytäntö johtuu siitä, että vaakatason valaistusvoimakkuus on helposti laskettavissa ja mitattavissa ja että näillä arvoilla saavutetaan myös riittävä valaistusvoimakkuus myös pystypinnoille./8,s.75./

Näiden edellä mainittujen seikkojen lisäksi valaistusta mitoitettaessa on otettava huomioon sen vanhenemisesta johtuva alenema, joten hyvien näköolosuhteiden turvaamiseksi valaistusvoimakkuuden tasaisuuden jään pinnalla on pysyttävä kappaleen 5.5

taulukon 2 vaadituissa lukemissa. Laajalla vaalealla jäänpinnalla erottuvat pienemmätkin jyrkät valaistuksen muutokset. Tällaisia muutoksia voivat aiheuttaa kaapekulaisten valonheittimien jään pintaan projisoimat lamppujen valokappaleiden kuvat tai mahdollisen katsomon varjot /8, s.75./

#### **6.4 Urheilutilojen valaistusluokat**

Urheilutilojen valaistusvaatimukset löytyvät standardista SFS-EN 12193. Ne koskevat valaistusvaatimuksia eri urheilulajeille sekä sisä- että ulkotilojen osalta. Standardissa on jokaiselle urheilulajille määritelty varsinainen alue, jossa urheilusuoritus tapahtuu sekä ns. referenssialue, jota valaistussuositukset koskevat. Standardi määrittelee myös, kuinka mittauksilla varmistetaan vaatimusten täyttyminen. Ulkovaalaistuksen osalta on annettu myös raja-arvot häiriövalolle.

Valaistusvaatimukset jaetaan kolmeen eri luokkaan riippuen siitä, onko kyseessä kansainvälinen, kansallinen vai paikallinen urheilutapahtuma, onko kyse harjoittelusta vai kilpaurheilusta vai onko kyseessä koulu-, urheilu- tai virkistystapahtuma. Valaistusvaatimuksia annetaan sekä horisontaaliselle että vertikaaliselle valaistusvoimakkuudelle. Myös häikäisysojaukselle on omat vaatimuksensa.

Sisätilojen osalta käytetään standardissa SFS-EN 12463-1 määritettyä UGR-arvoa ja ulkotiloissa GR-arvoa. Myös valaistuksen tasaisuudelle ja värinöistölle asetetaan vaatimuksia. Erityisvaatimuksia valaistukselle on annettu, jos tapahtuma lähetetään väritelevision välityksellä tai tallennetaan filmille.

Lajeittain on esitetty kolme eri valaistusluokkaa. Valaistusluokan valinta ja sen mukaan valaistustaso suoritetaan kilpailu- tai harrastustason mukaan./9./ Taulukossa 1 on esitetty valaistusluokat eri harrastetasoille.

**TAULUKKO 1. Ulkourheilulajin valaistusluokan valinta/10, s.17/**

KILPAILUTASO	VALAISTUSLUOKKA		
	I	II	III
KANSAINVÄLINEN JA KANSALLINEN	*		
ALUEELLINEN	*	*	
PAIKALLINEN	*	*	*
HARJOITTELU		*	*
VIRKISTYS-JA KOULULIIKUNTA			*

### 6.5 Jäähallin valaistusvaatimukset

Valo ja valaistus Urheilupaikat EN 12193 -standardi määrittää urheiluvalaistuksen siten, että saadaan aikaan hyvät valaistusolosuhteet niin pelaajille, harrastajille, urheilijoille ja tuomareille sekä katsojille että väritelevisiointille. Standardissa esitetään vaatimukset yleisimmille Euroopassa harrastetuille urheilulajeille. Vaatimukset esitetään niin sisä- kuin ulkourheilukin. Standardissa EN 12193 esitetyt vaatimukset ovat ns. minimiarvot eli vähimmäistavoite. Lajeittain määritellään keskimääräisen valaistusvoimakkuuden (Em) ja valaistuksentasaisuuden (Uo) raja-arvot. Häikäisy ei saa ylittää annettua raja-arvoa. Lamppujen väriloisto-ominaisuuksien eli väriloistokyvyn tulee myös olla annettujen käyttötarkoitukskohtaistenarvojen mukaiset./9, s.16./

Harrastettaessa jääkiekkoa sisätiloissa nämä valaistusvaatimukset on esitetty taulukossa 2.

**TAULUKKO 2. Jääkiekkokaukalon valaistusvoimakkuuden sekä Ra-indeksin vaatimukset eri harrastetasoilla/10, s.24/**

SISÄTILOISSA			ALUEEN/KENTÄN MITAT		VALAISTUKSEN LASKENTAPISTEIDEN lkm	
			PITUUS m	LEVEYS m	PITUUS SUUNNASSA	LEVEYS SUUNNASSA
JÄÄKIEKKO			60	30	17	9
LUOKKA	VAAKATASON VALAISTUSVOIMAKKUUS					Ra-indeksi
	Em/lx	Emin/Em				
I	750	0,7				60
II	500	0,7				60
III	300	0,7				60

Taulukossa määritellään lajikohtaiset kenttien mitat ja kentän mittojen suhteessa olevat valaistuksen mitoituspisteiden lukumäärät. Pisteet asettuvat tasajaollisesti lasketta-  
valle alueelle. Taulukon lyhenteet tarkoittavat seuraavaa:

$E_m$  = valaistusvoimakkuuden keskiarvon vähimmäisarvo (lx)

$E_{min} / E_m$  = valaistuksen yleistasaisuuden vähimmäisarvo

$R_a$  = värintoistoindeksin vähimmäisarvo

## 6.6 Nykyisen valaistuksen valaistusvoimakkuus

Kuten luvussa 4.2 mainittiin, pelataan hallissa jääkiekon 2-divisioonaa. Muulloin halli toimii junioreiden harjoitushallina sekä palvelee käyttäjiä koulu- ja virkistysliikunnan parissa. Tarkasteltaessa taulukkoa 1 saadaan Valkealan jäähallille valituksi valaistus-  
luokka- II. Taulukosta 2 saadaan valaistusluokka- II kohdalta tarvittava valaistusvoi-  
makkuus  $E_m$ , joka tässä tapauksessa on 500 lx. Aloittaessani tätä opinnäytetyötä kävin  
mittaamassa valaistusvoimakkuudet tasavälein jäänpinnasta 57 eri mittauspisteestä.  
Mittaustulokset eri pisteistä on esitetty liitteessä 1. Mittalaitteena oli kuvassa 2 esitetty  
Tenmars Lx/FC lightmeter TM 204.



**KUVA 2. Valaistusvoimakkuusmittari Tenmars TM 204 /11/**

Mittauksissa alin mitattu valaistusvoimakkuuden arvo oli 228 lx ja vastaavasti suurin arvo 470 lx. Valaistusvoimakkuuden keskiarvoksi kaukalon osalta saadaan 334 lx.

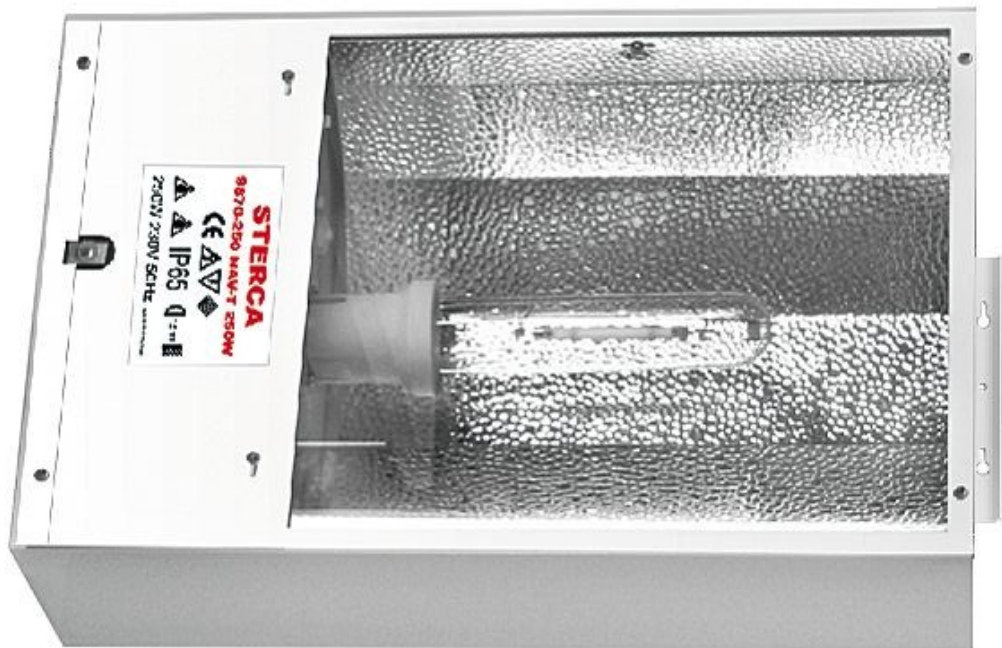
Verrattaessa mittaustuloksia vaadittuihin valaistusvoimakkuuden vaatimuksiin, jotka on esitetty taulukossa 2, havaitaan, että valaistus ei täytä vaadittua arvoa. Tämä johtuu varmaankin siitä, että laitoshiehiltä saadun tiedon mukaan edellisestä lampun vaihdosta on kulunut aikaa ainakin 3 vuotta. Mittaustulokset antavat viitteitä siitä, että aika on mahdollisesti jopa pitempi.

## **7 NYKYINEN VALAISTUS**

Vertailun lähtökohtana oli nykyinen monimetallilampuilla toteutettu valaistus joka edustaa tekniikaltaan suhteellisen vanhaa valaistustekniikkaa. Seuraavissa kappaleissa on käyty läpi tämän valaisintekniikan tärkeimpiä ominaisuuksia, niin valaisimen kuin valaisimessa käytetyn lampun osalta.

### **7.1 Valaisin**

Nykyistä valaisinmallia SLO 8306-NAV-T 400 C ei enää löydy valaisinluetteloista, joten jouduin DIALuxissa käyttämään nykyistä valaisinta vastaavaa mallia. Tiedustelin asiaa SLO:ltä ja sainkin tuotepäällikkö Esa Kuuselalta nykyisen korvaavan mallin ko. vanhalle valaisimelle. Korvaavaksi valaisimeksi suositeltiin E-Valon Sterca 9870-400 HST/HIT. Valaisinmalli on esitetty kuvassa 3. Tätä korvaavaa mallia on käytetty ainoastaan Dialux- ohjelmistossa vanhan valaistuksen sijaan 3D-simuloinnissa ja tarvittavien laskentatulosten aikaansaamiseksi. Muuten kaikki muissa laskemisessa käytetyt arvot perustuvat tuohon vanhaan SLO:n valaisinmalliin. Tässä työssä Dialuxista saatu 3D-simulointi, valaisinluettelo, valonjakokäyrät sekä laskennasta saadut valaistusvoimakkuudet on esitetty monisivuisessa liitteessä 2.



**KUVA 3. Laajasäteilijä Sterca 9870-400 HST/HIT/12/**

Valaisin voidaan varustaa joko monimetalli- tai suurpainenatriumlampulla. Valkealan hallissa käytetty lamppu tyyppi on General electricin monimetallilamppu ARC 400/T/H/742/. Specsien mukaan lampun valovirta on 35000 lm, joten valotehokkuudeksi lampulle saadaan  $\approx 88$  lm/W. Valaisimen kokonaisteho ei ole tiedossa, joten valaisimen kokonaisteho jouduttiin arvioimaan SFS 608 -valaistusstandardin ohjeen mukaan. Standardin mukaan olemassa olevan valaistuksen oletusvalaisin teho voidaan arvioida seuraavanlaisella tavalla. Valaisin, jonka lamppu on kytketty verkkojännitteen virranrajoittimen tai muuntajan kautta, voidaan teho laskea kaavasta:

Valaisinteho  $P_t = 1,2 \cdot \text{lampun mitoitusteho} \cdot \text{valaisimessa olevien lamppujen lkm. (2)}$   
/10 s.62./

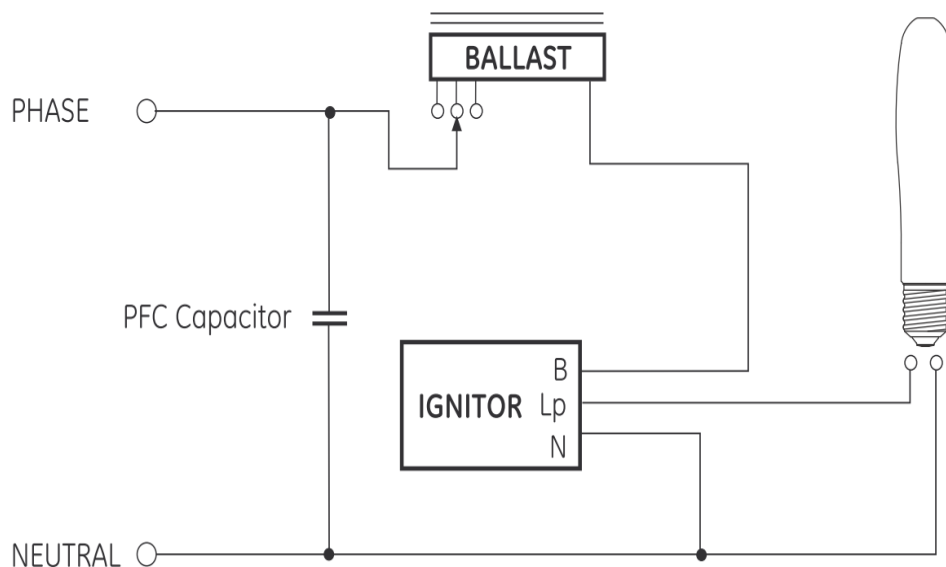
Nykyinen valaisin on varustettu 1 lampulla ja lampun mitoitus-teho 400W, joten kaavaa apuna käyttäen kokonaisvalaisintehoksi yhtä valaisinta kohden saadaan.

$$P_i = 1,2 * 400 * 1 = 480W.$$

Valaisimia kaukalon osalle on asennettuna 48 kappaletta, jotka on jaoteltu tasaisesti neljään eri valaisinripustuskiskoon. Jokaisessa kiskossa on siis 12 valaisinta. Valaisinripustuskiskot sijaitsevat hallin teräsrakenteiden yläpinnalla, jonka vuoksi valaisinripustuskiskojen asennuskorkeudet vaihtelevat 6,5-7,6metrin välillä.

## 7.2 Valaisimen verkkoliitäntä

Toimiakseen monimetallilamput siis tarvitsevat purkauslamppujen tapaan, että valaisimessa on liitäntälaitteina virranrajoitin ja sytytin. Kuvassa 4 on esitetty monimetallilampulla varustetun valaisimen virtapiiri.



**KUVA 4. Monimetallilampulla varustetun valaisimen virtapiiri /13/**

## 7.3 Kuristin

Virranrajoittimena toimivassa kuristimessa on yleensä ulosottoja erilaisille verkkojännitteille, jotta voidaan ottaa huomioon asennuspaikan jännitetaso. Lamppuvirta, verkkojännite sekä kuristimen impedanssi määräävät monimetallilampun lampputehon. Lampputehon muutokset näkyvät suoraan muutoksina valovirrassa ja valon väriominaisuuksissa ja lisäksi liian suuri teho lisää purkausputken seinämän tehokuormitusta

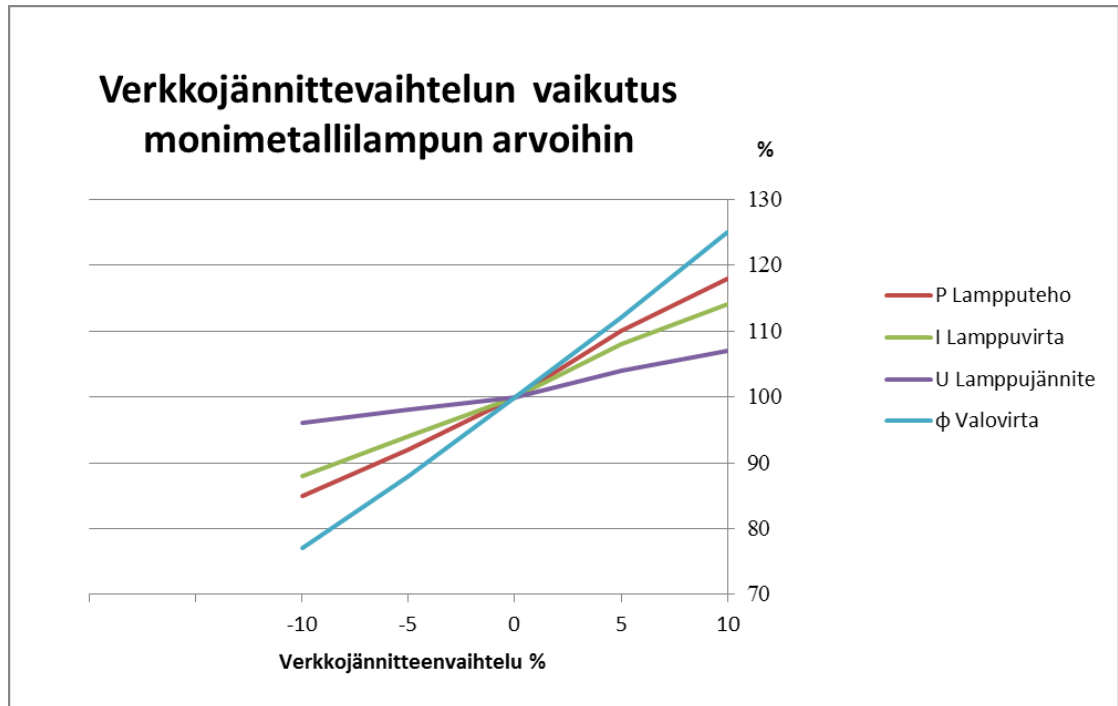
ja lyhentää lampun ikää. Tästä syystä on erittäin tärkeää, että kuristimen avulla lamp-  
puteho pyritään pitämään mahdollisimman lähellä nimellisarvoaan./1, s.262./

#### **7.4 Sytytin**

Monimetallilampun syttymisjännite on paljon suurempi kuin elohopealampulla. Tämä johtuu purkausputkessa olevat jodideista, joten syttymiseen tarvitaan erillinen sytytin. Sytyttimen avulla saadaan synnytettyä elektrodien välille niin suuri sähkökenttä, että purkausputken kaasussa tapahtuu läpilyönti. Purkausputkessa olevan jalokaasun avulla saadaan alennettua tätä purkauksen syttymisjännitettä. Kun syttyminen on tapahtunut, kestää jonkin aikaa, ennen kuin lamppu saavuttaa lopullisen toimintapisteensä. Syttymisen alussa valo on peräisin jalokaasussa tapahtuvasta purkauksesta, mutta vähitellen purkausputkessa olevat muut täytösaineet alkavat osallistua säteilyntuottoon eri lämpötiloissa. Tämä on havaittavissa valon värimuutoksina lampun lämpenemisen aikana. Metallihalidien höyrynpaineen kasvaessa niiden osuus valontuotossa kasvaa koko ajan ja valon väri alkaa muuttua. Lopullisen valaistustehon saavuttaminen kestää monimetallilampulla tyypillisesti 4-6 min. /1, s.262 - 263./

#### **7.5 Jännitevaihteluiden vaikutus toimintaan**

Verkkojännitteen vaihtelu on ongelmallista monimetallilampuilla varustetuilla valaisimilla, koska se aiheuttaa muutoksia monimetallilampun sähköisissä arvoissa ja valontuotossa. Tämä johtuu siitä, että verkkojännitteen vaihtelun seurauksena lampun liitäntälaitteena käytetyn kuristimen yli oleva jännite muuttuu aiheuttaen muutoksen myös lamppuvirrassa. Tämän seurauksena myös lampputeho muuttuu vaikuttaen valaisimessa olevan lampun antamaan valovirtaan. Normaalilla verkkojännitteen vaihtelualueella nämä muutokset ovat yleensä pieniä. Kaaviossa 2 on esitetty verkkojännitevaihteluiden vaikutus erään monimetallilampun valovirtaan ja sähköisiin arvoihin.



**Kaavio 2 Verkkajännitteen vaihtelun vaikutus monimetallilampun sähköisiin arvoihin ja valovirtaan /1 s.268/**

Vaikka lamppujännitteen muutokset ovat suhteellisen pieniä näissä vaihteluissa, vaikuttaa se huomattavan olennaisesti lamppuvirtaan ja sitä kautta lampputehoon sekä valovirtaan. Lampun valmistajien ilmoituksen mukaan sallittu verkkajännitteenvaihtelu monimetallilampuille on tyypillisesti +/- 5 % nimellisjännitteestä. Väriominaisuuksien muuttuminen on myös yksi asia, mihin verkkajännitteen vaihtelu vaikuttaa. Tähän väriominaisuuksien muuttumiseen vaikuttavat purkausputkessa käytetyt metalliyhdisteet.

Verkkajännitteen kasvaessa myös lamppuvirta kasvaa. Tämä lisää elektrodimateriaalin höyrystymistä ja johtaa purkausputken tummumiseen. Verkossa oleva jatkuva ylijännite kiihdyttää siten valovirran alenemaa alentaen näin lampun polttoikää.

Syöttöjännitteessä tapahtuvissa jännitekatkoksissa monimetallilampun käyttäytyminen riippuu käytetystä lampputyypistä ja jännitekatkoksen kestosta. Lyhyimmät pikajälkeenkytkennöistä aiheutuvat jännitekatkokset pienjänniteverkossa kestävät useita satoja millisekunteja. Tällaisissa katkoksissa monimetallilamppu sammuu aina.

Myös verkkajännitteen äkilliset jännitetason putoamiset ovat ongelmallisia monimetallilampun kannalta. Verkkajännitteen laskiessa äkillisesti tasolle, jossa se ei ole enää

riittävä purkauksen uudelleensyttymiseen virran nollakohdan jälkeen puolijakson alussa, on seurauksena myös lampun sammuminen. Tähän riittää monesti vain 5-10 % suuruinen äkillinen jännitetaso putoaminen. Jännitetaso putoamisen saattaa aiheuttaa esimerkiksi suuren kuorman kytkeytyminen verkkoon./1, s.267 - 269./

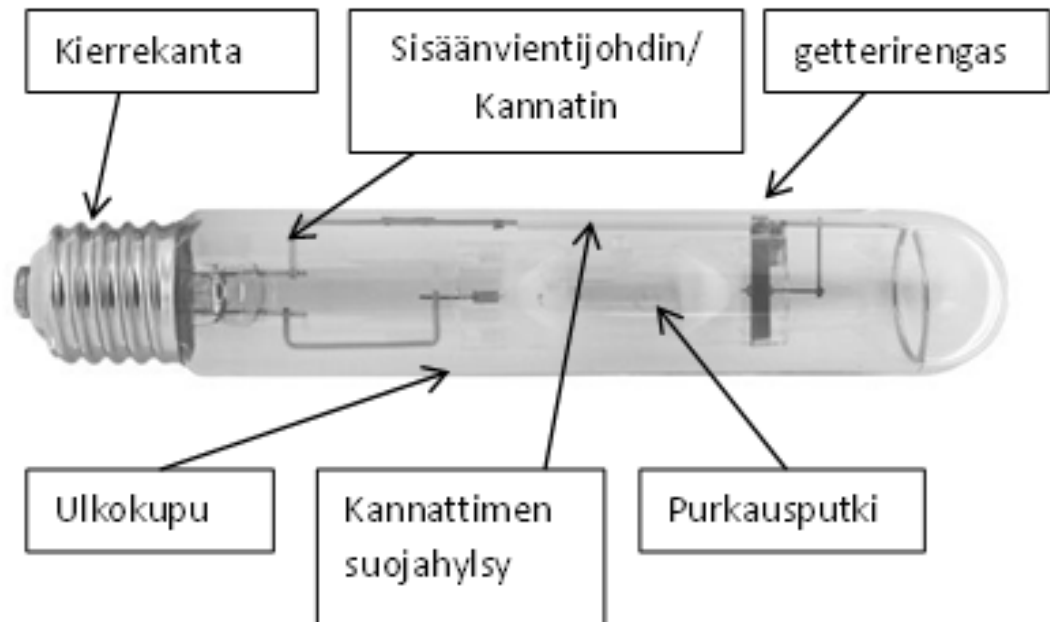
## **7.6 Monimetallilamppu**

Monimetallilamput perustuu korkeapaineiseen kaasupurkaukseen. Aikoinaan yritys elohopeahöyrylampun värintoisto-ominaisuuksien parantamiseksi laukaisi monimetallilampun kehityksen. Tämä yritys värintoisto-ominaisuuksien parantamiseksi elohopeahöyrylampussa tapahtui siten, että lisättiin lampun purkausputkeen elohopean rinnalle metallien halogeeniyhdisteitä.

Ensimmäiset monimetallilamput valmistettiin 1960-luvun alussa. Nämä lamput valmistettiin lisäämällä elohopean rinnalle natriumin, talliumin ja indiumin jodidiyhdisteitä. Jälkeenpäin näitä metallien halogeeniyhdisteitä on tullut lisää. Näiden eri metallien halogeeniyhdisteiden purkaukselle antaman ominaisuuden johdosta lamppujen valotekniset ominaisuudet ovat hyvinkin erilaisia. Monimetallilamppuja käytetään laajasti mm. ulkoalue-, julkisivu-, teollisuustila-, urheiluhalli-, myymälä-, toimistosekä teatterivalaistuksissa. Väriämpötila monimetallilampulla on 3000-6000K ja Ra-indeksi välillä 65-90./1, s.257./

### **7.6.1 Rakenne**

Monimetallilampun rakenne koostuu kierrekanta osasta, johon on liitetty saumattomasti yhteen lampun lasinen ulkokupu. Tämän ulkokuvun sisällä ovat seuraavat komponentit, kuten sisäänvientijohdin, kannattimen suojahylsy, purkausputki ja getteriringas. Monimetallilampun rakenne on lähemmin esitetty kuvassa 5./1, s.258./



**Kuva 5 Monimetallilampun rakenne /1, s.258,14/**

### 7.6.2 Purkausputki

Purkausputken tärkeimmät vaatimukset ovat hyvä värinläpäisykyky sekä lämmönkestävyys. Tämän vuoksi purkausputken materiaalina käytetään kvartsilasia. Purkausputkelle asetettu korkein sallittu lämpötila on n.  $950^{\circ}\text{C}$  ja kvartsilasin pehmenemispiste on n.  $1350^{\circ}\text{C}$ . Lämpötilan ollessa tätä korkeampi voi paine-ero purkausputken sisä- ja ulkopuolella aiheuttaa purkausputken muotoutumisen. Lampun palaessa purkausputken kylmäpisteen lämpötila määrää aineiden höyrynpaineen ja sitä kautta lampun valotekniset ominaisuudet. Monesti lampun polttoasennon muutokset aiheuttavat usein kylmäpisteen paikan ja lämpötilan muuttumisen, joten tästä syystä useimpien moni-

metallilamppujen polttoasentoa on rajoitettu. Yleensä valmistajat ilmoittavat lampuilleen sallitun polttoasennon./1, s.258./

### **7.6.3 Purkausputken täyteaineet**

Kuten alussa mainittiin, purkausputken täytös koostuu elohopeasta, eri metallien halogeeniyhdisteistä sekä lisäksi pienestä määrästä jalokaasua. Pääasiassa valoa tuottavat halogeeniyhdisteiden metalliatomit. Käytetyin halogeeni monimetallilampuissa on jodi, ja elohopea toimii purkauksessa ns. puskurikaasuna. Höyrystyäkseen nämä metallien halogeeniyhdisteet vaativat korkeamman lämpötilan kuin purkausputkessa oleva elohopea. Höyrystymiseen tarvittava lämpötila saadaan aikaan korkeapaineisen elohopeapurkauksen avulla. Lampun palaessa tämä purkausputkessa oleva elohopea on kokonaan höyrystyneenä. Elohopean höyrönpaine määrää lamppujännitteen. Purkauksen syttymisjännitettä alennetaan jalokaasun avulla, joita ovat argon tai vaihtoehtoisesti neonin ja argonin seos./1, s.259./

### **7.6.4 Purkausputken läpiviennit ja elektrodit**

Erittäin tärkeää on, että purkausputken virtaläpivientien kaasutiiviys on hyvä. Tästä johtuen purkausputki on suljettu molemmista päistä puristamalla sekä läpivientijohtimien ja elektrodien väliin on sijoitettu ohuet molybdeeniliuskat. Tämä siitä syystä, että kvartsilasin lämpölaajenemiskerroin on huomattavasti pienempi kuin minkään läpivientijohtimena käytetyn sähköä johtavan materiaalin. Elektrodi muodostuu tavallisemmin volframitapin ympärille kierretystä volframilangasta./1, s.259./

### **7.6.5 Ulkokupu**

Ulkokupu toimii purkausputken suojana sekä estää purkausputken lämpöhäviötä. Ilman ulkokuvun käyttöä purkausputkelta vaaditaan lämpöhäviön vuoksi suurempi toimintalämpötila, mikä taas lyhentää lampun elinikää. Paras lämpöeristys saadaan kun purkausputken ja ulkokuvun väliin jää tyhjiö. Tätä tyhjiötä pidetään yllä ulkokuvun sisällä olevan kaasuja absorboivan getterirenkaan avulla. Todellisuudessa, turvallisuussyistä, ulkokuvun sisällä on usein kaasutäytös, joka estää purkausputken särkyessä tapahtuvan vaarallisen räjähdysten. Kaasutäytös riippuu purkausputkessa käyte-

tystä jalokaasusta. Jos jalokaasuna käytetään argonia, on kaasutäytös tyypeä, ja vastaavasti kun purkausputkessa oleva jalokaasu on neonin ja argonin seosta, käytetään kaasutäytöksenä typen ja neonin seosta. Getterirengas ulkokuvun sisällä pitää kaasutäytöksen vapaana epäpuhtauksista. Ulkokuvun materiaalina on joko borosilikaattilasi (kovalasi) tai vaihtoehtoisesti kvartsilasi. Yleensä kierrekantaisten lamppujen ulkokuvun materiaalina on borosilikaattilasia ja kvartsilasia käytetään mm. kaksikantaisilla monimetallilampuilla, joissa ulkokupu on suljettu purkausputken tavoin puristamalla. Purkausputken sisäänvientijohtimiin yhdistetyt kannattimet muodostavat tukikehyksen, joka tukee lampun purkausputkea suojaten sitä iskuilta ja tärinältä. Luminanssin pienentämiseksi ulkokuvun sisäpinta päällystetään usein valoa hajottavalla jauheella./1, s.259 - 260./

### 7.7 Värilämpötila ja Ra-indeksi

Monimetallilampun spektristä saadaan halutunlainen yhdistämällä sopivien metallien halogeeniyhdisteitä. Tämän mahdollistaa useiden eri metalliyhdisteiden sopivuus purkaukseen. Halogeeniryhmästä käyttökelpoisia halogeeneja ovat bromi, kloori, fluori ja jodi. Jodi on yleisimmin käytetty halogeeni monimetallilampuissa, koska bromi, kloori ja fluori reagoivat helposti muiden aineiden kanssa./1, s.264./

Natriumin, talliumin ja indiumin jodideja sisältävän lampun säteily muodostaa spektrin, jossa hallitsevia ovat kolme voimakasta säteilyhuippua spektrin ollessa selvästi epäjatkua. Värilämpötilaa voidaan muuttaa natriumin- ja indiumjodidien osapaineiden suhdetta muuttamalla hyvinkin laajalla alueella. Värilämpötila tällaiselle lampulle on 3600 - 7000 K ja Ra-indeksi on luokkaa 65 - 70.

Valon väriä saadaan parannettua yhdistämällä eri maametallien jodideja tai lisäämällä maametallijodidin rinnalle muiden alkuaineryhmien metallien jodideja. Käytetyimmät ovat dysprosium, tulium ja skandium. Lampun spektristä saadaan lähes jatkuva käytettäessä dysprosiumia. Haluttaessa parantaa valon väriominaisuuksia käytetään lisäksi talliumia ja natriumia. Dysprosiumlampun värilämpötila on 4000 - 6000 K ja värin- toistoindeksi Ra on 85 - 90.

Lampuissa, joissa on käytetty skandiumin, natriumin ja toriumin jodideja, muodostuu näiden lamppujen spektri useista aallonpituuksista, mutta spektri ei ole kuitenkaan jatkuva. Punaisen valon osuus puuttuu lähes kokonaan. Tällaisen lampun purkauksen värilämpötila on korkea, noin 4500 K ja värintoistoindeksi luokkaa 65 - 70.

Tinan halogeeniyhdisteillä on sellainen ominaisuus, etteivät ne hajoa kaasupurkauksen ympäristössä vallitsevissa korkeissakaan lämpötiloissa. Jatkuvan spektrin omaavaa säteilyä saadaan aikaiseksi, suuren molekyyliitiheyden ja niiden keskinäisen vuorovaikutuksen seurauksena. Purkaukseen muita metalleja lisäämällä voidaan lampun väriominaisuuksia muuttaa. Halogeeneina käytetään klooria ja jodia. Tinapohjaisen monimetallilampun värilämpötila on 3000 - 6000 K ja värintoisto indeksi noin 80 - 85./1, s.264 - 266./

### **7.8 Uv säteily**

Purkausputkessa käytettävistä metalliyhdisteistä riippuu monimetallilampussa syntyvän UV-säteilyn osuus. Huomiota on kiinnitettävä varsinkin kvartsilasisella ulkokuvulla varustettujen lamppujen yhteydessä, sillä kvartsilasi läpäisee näkyvän valon lisäksi lähes kaiken UV-alueen säteilyn. Ulkokuvussa kvartsilasia käytetään yleensä, kuten aikaisemmin mainittiin, lähinnä kaksikantaisissa lampuissa./1, s.267./

### **7.9 Monimetallilampun tehojakauma**

Käytetyt metalliyhdisteet, lampun rakenne sekä lampputeho vaikuttavat tehon jakautumiseen lampussa ja lampun valotehokkuuteen. Monimetallilampun arvo valotehokkuudelle on 50 - 85 lm/W./1, s.267./

### **7.10 Monimetallilampun valaistustehokkuuden heikkenemä**

Elektrodimateriaalin höyrystyminen, purkausputken läpäisykyvyn aleneminen tummumisen johdosta sekä yhdisteiden kemiallisen tasapainon muuttuminen purkausputkessa aiheuttavat monimetallilampun valovirran alenemisen käyttöiän aikana. Elektrodimateriaalin höyrystyminen on kaikkein voimakkainta lampun syttymisen aikana./1, s.267./

## 7.11 Monimetallilampun säätäminen

Monimetallilamppujen valonsäätö voidaan periaatteessa toteuttaa säädettävällä muuntajalla syöttöjännitettä säätämällä, lisäkuristimella tai ns.vaihekulmasäädöllä. Säätäminen on kuitenkin hankalaa, sillä säädön on tapahduttava hitaasti. Liian nopeasti tapahtuva säätö voi aiheuttaa lampun sammumisen. Tämän vuoksi säätimessä on oltava aikaviivästys. Lampun syttymis- ja lämpenemisvaiheessa ei säätöä voida suorittaa. Säätämisessä on se huono puoli, että valoa tuottavien aineiden höyrynpaine muuttuu säädettäessä aiheuttaen muutoksia valon värissä. Lampun valovirran ollessa noin 60 % nimellisarvostaan on säteilylle ominaista elohopeapurkaukselle tyypillinen sinivihreä väri. Valovirran ollessa alle 40 % nimellisarvostaan lampun säteilyn väri alkaa olla hallitseva. Valovirtaa säädettäessä, purkausputkessa käytetyistä metalliyhdisteistä riippuen, on valon värin muuttuminen kuitenkin erilaista eri lampputyypeillä. Pitkäaikaisessa poltossa tulisi valovirran säätöalueen olla lampun eliniän kannalta korkeintaan 50 - 100 %. Valon värintoisto-ominaisuuksien huononemisesta johtuen lamppuvalmistajat eivät kuitenkaan aina suosittele monimetallilamppujen valovirran säätämistä./1, s.269./

## 8 UUSI VALAISTUS

Vertailun vastakohtaksi valittiin paljon näkyvyyttä saanut led-valaistus, joka edustaa vastaavasti uutta valaistustekniikkaa. Seuraavissa kappaleissa käydään läpi tämän valaistustekniikan historiaa tähän päivään asti. Lisäksi tarkastellaan ledien tulevaisuutta ja tärkeimpiä tämän valaistustekniikan ominaisuuksia sekä perehdytään valittuun valaisiin malliin sekä uuden valaistuksen toteutukseen.

### 8.1 Led

Lyhennys led tulee englannin kielestä sanoista Light emitting diode, joka tarkoittaa suomeksi sanottuna valodiodia. Ledissä puolijohderajapinnan yli kulkeva sähkövirta muuttuu suoraan fotoneiksi. Ledin toiminnasta lisää myöhemmin olevassa kappaleessa. Valitsemalla erilaisia puolijohhteita voidaan tuottaa montaa eriväristä valoa./15./

## 8.2 Historia

Ledin kehityksen historian katsotaan alkaneeksi jo niinkin varhain kuin 1900-luvun alussa, kun englantilainen Henry Round huomasi laboratorio olosuhteissa, että puolijohdeliitos voi tuottaa valoa. 1920-luvun puolivälissä myös venäläinen Oleg Losev kehitti ensimmäisen ledin, mutta tämä jäi vaille suurempaa huomiota. Tästä kolmenkymmenen vuoden päästä Rubin Braunstein RCA:lta (Radio Corporation of America) huomasi 1955 Gallium Arseni -liitoksen säteilevän infrapunavaloa ja vuonna 1961 tutkijat Bob Biard ja Gary Pittman saivat patentin IR-ledille. Vuonna 1962 Nick Holonyak kehitti ensimmäisen näkyvän valon alueella toimivan Ledin ja Nick Holonyakin onkin sanottu olevan ns. ”valodiodin isä”./16./

Nick Holonyak visioi jo vuonna 1962 tulevaisuuden valonlähteen olevan särkymätön pieni siru, joka on valotehokkuudeltaan kymmenen kertaa tehokkaampi kuin hehkulamppu. Tänä päivänä lähes 50 vuotta myöhemmin voidaan todeta näin tapahtuneen./17./

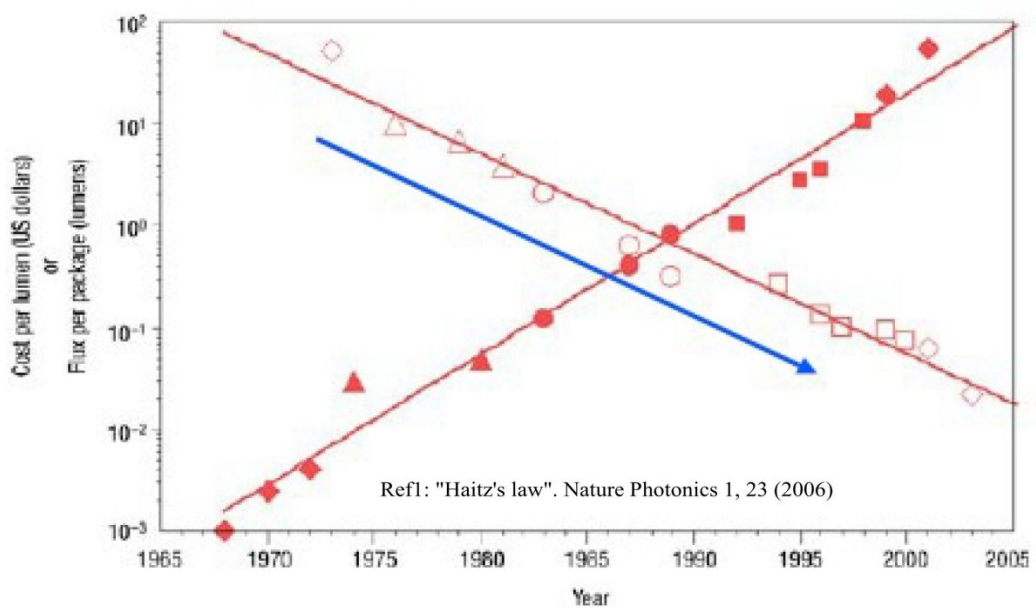
Vuonna 1972 George Craford, Holonyakin entinen oppilas keksi keltaisen ledin ja kymmenen kertaa aikaisempaa kirkkaamman punaisen sekä oranssin ledin. Vuonna 1993 Professori Shuji Nakamura kehitti Indiumgallium-nitridiin perustuvan kirkkaan sinisen ledin ja pian sen jälkeen käyttäen Y3Al5O12:Ce fosforipinnoitusta sekoittamaan keltaista valoa sinisen valon kanssa hän sai luotua valkoista valoa tuottavan ledin. Tästä saavutuksesta vuonna 2006 Professori Nakamuralle myönnettiin suomalainen maailman suurin Millennium-teknologiapalkinto. Tämä keksintö avasi tien energiatehokkaan valaistuksen kehittymiseen, joissa valonlähteenä käytetään valkoista lediä./16./

## 8.3 Kehitys

Historiasta voi todeta, että keksintönä ledi on jo suhteellisen vanha. Tämän päivän ledi on koko ajan kasvavan kiinnostuksen kohteena, ja etenkin sen valaistuskäyttöön liittyy suuria odotuksia. Ensimmäiset punaiset puolijohdeledit valmistettiin laboratoriossa jo 1960-luvun alussa, ja 1970-luvulla niitä käytettiinkin yleisesti merkkivaloina lähinnä pienelektronikassa, kuten televisioissa, radioissa, kelloissa ja taskulaskimissa.

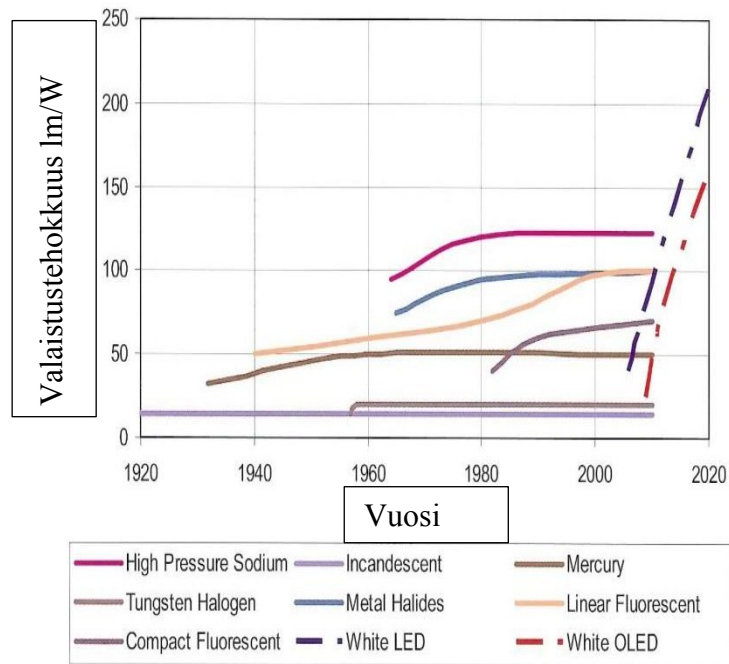
Kuitenkin vasta tuo Shuji Nakamuran valkoisen valon ledin keksiminen toi vauhtia ledien kaupallistumiseen. Ledien kaupallistaminen tapahtuikin nopeaan tahtiin 1990-luvulla ja vuosituhannen vaihteessa niitä käytettiin jopa avaimenperissä valonlähteinä. Ledien tehokkuus esim. punaisen ledin kohdalla on viisinkertaistunut aina kymmenen vuoden välein aina 1960-luvulta asti. Samaa kehitystä on nyt havaittavissa valkoisen valon ledeillä./17./

Kaaviossa 3 on esitetty ledin valotehokkuuden kasvu ja hinnan aleneminen 1960-luvulta alkaen.



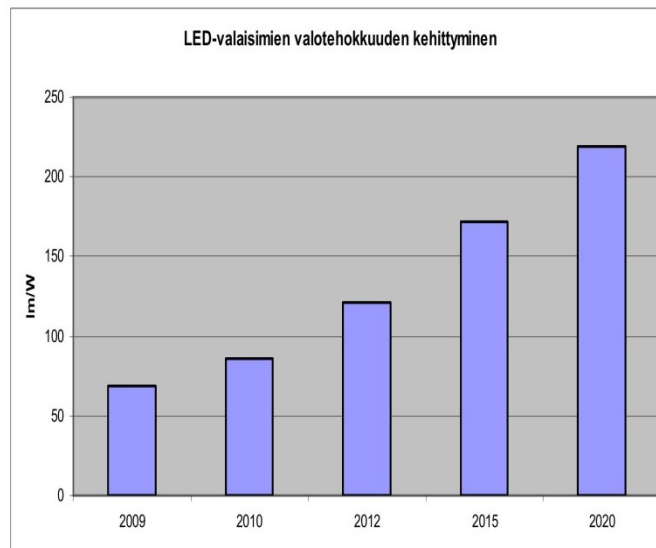
**Kaavio 3 Ledin valotehokkuuden ja hinnan kehittyminen 1960 luvulta alkaen /15/**

Verrattaessa eri valonlähteiden energiatehokkuuden historiallista muutosta havaitaan, että valkoisen valon ledin erittäin nopea kehitys erottuu muista valonlähteistä selvästi. Tämä muutos verrattuna muihin valonlähteisiin on esitetty kaaviossa 4.



**Kaavio 4 Valkoisen ledin valotehokkuuden kehitys verrattuna muihin lampputyyppeihin /3/**

Ledien energiatehokkuus on ollut jo pitkään hehkulamppuja parempi, ja niiden jatkuva nopea kehitysvauhti on saavuttanut muutkin ns. tehokkaammat valolähteet nopeasti. Arvioiden mukaan valkoisen valon ledien energiatehokkuuden teoreettinen maksimi on luokkaa 300 lm/W ja uusimpien tietojen mukaan jopa ylikin (340 lm/W), joka on noin kolminkertainen verrattuna esim. loisteputkiin. Nykyiset markkinoilla olevat parhaat valkoisen valon ledit pääsevätkin jo noin 150 lm/W energiatehokkuuteen./17./ Lisäyksenä kaavioon 4 esitetään vielä erikseen kaaviossa 5 pylväsdiagrammina led valaisimien valotehokkuuden kehittyminen tällä vuosikymmenellä vuodesta 2009 alkaen ja ennustetaan tulevaa kehitystä vuoteen 2020.

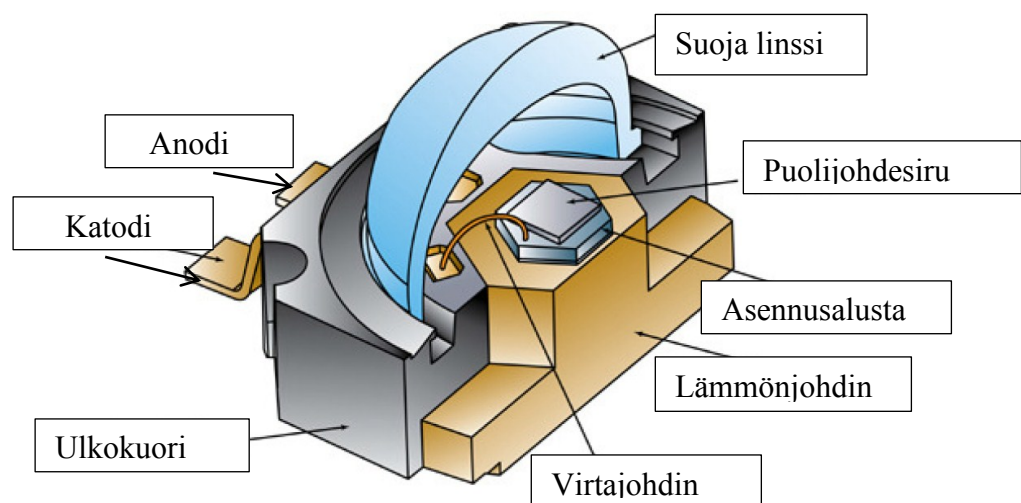


**Kaavio 5** Led-valaisimien valotehokkuuden kehittyminen tällä vuosikymmenellä/3/

Kaavioista 4 ja 5 käy hyvin ilmi, kuinka nopeaa nykyinen ledin valotehokkuuden kasvu on.

#### 8.4 Ledin rakenne

Yksittäinen ledi koostuu seuraavista rakenneosista, jotka ovat runko, puolijohdesiru, linssi, lämmönjohdin sekä liitosnavat anodi ja katodi. Kuvassa 6 on lähemmin esitetty yksittäisen teholedin rakenne ja osat.



**Kuva 6** Yksittäisen teholedin rakenne /18/

### 8.4.1 Runko

Ledin runko toimii lähinnä kiinnitysalustana ja suojana ledin muille komponenteille. Yleensä tämä runko-osa on kiinnitettyä yksittäisenä erilliselle piirilevylle tai useamman ledin ollessa kyseessä erilliseen moduuliin.

### 8.4.2 Led siru

Yksittäisen teholedin halkaisija on kooltaan vain 5mm suuruinen/18/. Ledistä saatavan valon väri riippuu sirussa käytetystä puolijohdemateriaalista. Markkinoilla olevat nykyiset teholedit ovat rakennettu lähinnä kahdesta eri puolijohdemateriaalista. Keltaista, oranssia ja punaista valoa tuottavat ledit ovat valmistettu alumiini-gallium-indium-fosfidista (AlGaInP), toisinaan myös alumiini-indium-gallium-fosfidista (AlIn-GaP). Vihreää, sinistä ja valkoista valoa tuottavat ledit taas vastaavasti indium-gallium-nitridi-puolijohdeesta (InGaN). Pienetkin muutokset näissä puolijohdemateriaalien välisissä seos-suhteissa vaikuttavat ledistä saatavan valon väriin. Näistä valkoista väriä tuottava led voidaan toteuttaa kolmella eri tavalla.

1. Sijoittamalla samaan koteloon punainen, vihreä ja sininen puolijohdediodi. Tässä menetelmässä näiden kolmen sirun keskinäisiä kirkkauksia säätämällä voidaan tuottaa valkoista tai minkä muun väristä valoa tahansa.
2. Käyttämällä ultraviolettin ledipuolijohdeon päällä punaista, sinistä ja vihreää fosforia saadaan valkoinen valo synnytettyä näiden yhdistelmän tuloksena.
3. Lisäämällä sinisen puolijohdeon päälle keltainen fosfori tällöin näiden yhdistelmä näkyy valkoisena valona.

Ensimmäisen sukupolven ledeissä väriämpötilat olivat luokkaa 5000 - 6000K ja värintoistoindeksi 70. Uusien ledi sukupolvien väriämpötilaa on saatu laajennettua ”lämpimästä päästä” ja niiden väriämpötilat alkavat jo 3000K ja värintoistoindeksikin saadaan jo 85./19./

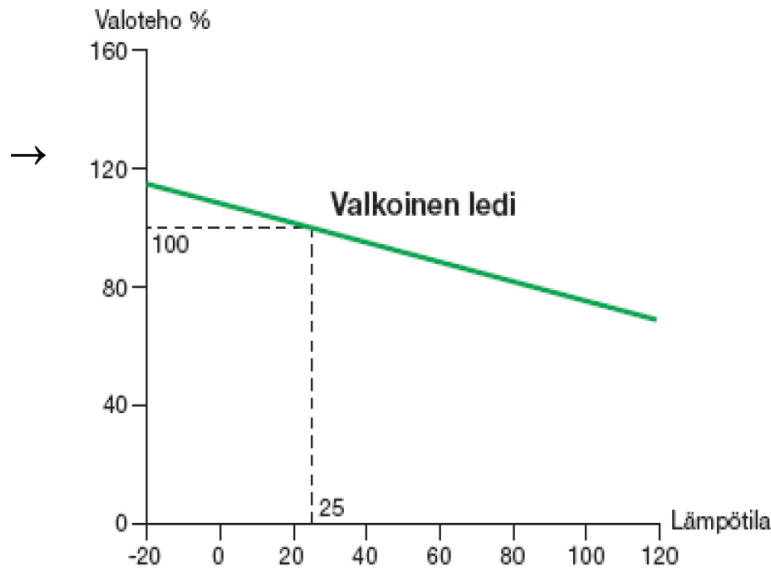
### 8.4.3 Linssi

Kotelon linssin tehtävänä on suojata ledsirua ja päästää alustassaan olevasta ledsirusta vapautuva valo ulospäin. Tämä on mahdollista alustassa olevan heijastuspinnan avulla, joka suuntaa valon kohden ulkoista linssiä. Alustassa olevan heijastuspinnan ja suojalinssin päällä olevan erilliseen linssiin sijoitetun optiikan yhteistyön avulla saadaan aikaan haluttu valaistuskulma ja kohdennus valolle. Ledin pienuudesta johtuen nämä valonohjaukseen liittyvät tarvittavat rakenteet ovat kooltaan pieniä ja halpoja toteuttaa. Linssi toimii tämän lisäksi myös häikäisyn eliminoijana./17,20./

### 8.4.4 Lämmönjohdin

Toimiessaan ledit lämpenevät ja siitä syystä ledissä tarvitaan erillinen lämmönjohdin joka toimii ns. ”jäähdytysripana” ledille. Varsinkin teholedeissä, joissa pienen puolijohdesirun yli ajetaan ampeerin tasavirtaa, muodostuu puolijohde kerroksissa hyvin suuri virrantiheys. Vaikka ledisiru toimiikin yli 50 % hyötysuhteella, sirun sisäiset ja metallikontaktien resistiiviset häviöt nostavat sirun lämpötilan yli 100 °C asteeseen. Tällainen liian korkea käyttölämpötila on haitallinen lyhentäen ledisirun elinikää ja voi pahimmillaan polttaa sen kokonaan. Ledihän ei perinteisiin valonlähteisiin verrattuna säteile tuottamaansa lämpöä pois, vaan lämpö on johdettava erillisen lämmönjohdinten kautta valaisimen runkoon ja sitä kautta ympäristöön. Myös ympäristön korkea lämpötila lyhentää ledin elinikää huomattavasti. Ledien valaisin käytössä onkin erittäin tärkeää kiinnittää huomio jäähdytykseen, koska se vaikuttaa eliniän lisäksi ledistä saatavaan valovirtaan sekä väriin./17,18./

Kaaviossa 6 on esitetty ympäristön lämpötilan vaikutus valkoisen ledin valotehon laskuun.



**Kaavio 6 Ympäristön lämpötilan vaikutus valkoisen ledin valotehoon /19/**

Kaaviosta 6 voidaan todeta led-valaistuksen soveltuvan ympäristön lämpötilan puolesta erittäin hyvin jäähalliolosuhteisiin. Esimerkiksi Valkealan hallin sisälämpötila on n. + 6 °C.

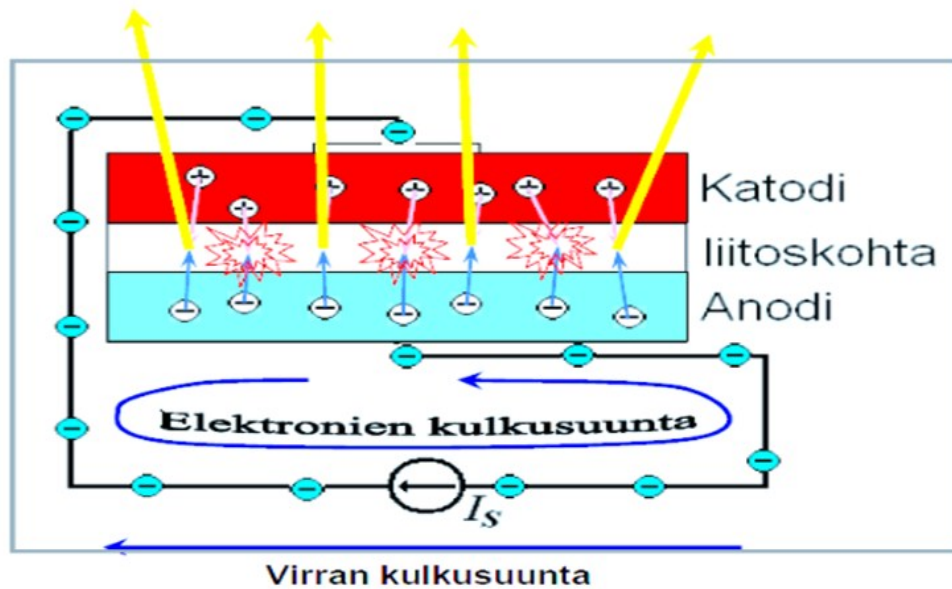
### 8.5 Ledin toimintaperiaate

Ledit ovat puolijohdekomponentteja, jotka sisältävät p-n-liitoksen. Tämä liitos alkaa emittoida optista säteilyä eli valoa, kun liitokseen johdetaan sähkövirtaa./21./

Tarkemmin määriteltynä valo syntyy hyvin ohuissa materiaalikerroksissa niin sanotuissa kvanttikaivoissa, joiden paksuus on tyypillisesti vain joitain nanometrejä, eli joitain kymmeniä atomikerroksia. Ledisirussa tämän kvanttikaivon sijainti on p- ja n-tyypin materiaalikerrosten välissä. Nämä kerrokset ovat seostettuja puolijohdekerroksia, joissa N-tyypin seostuksella on luotu materiaaliin negatiivisesti varautuneita varauksenkuljettajia eli elektroneja. P-tyypin materiaalin seostus puolestaan luo positiivisesti varautuneita varauksenkuljettajia eli aukkoja./17./

Kytkemällä p- ja n- kerrosten yli tasajännite alkaa katodilta anodille kulkeva päästösuuntainen virta kuljettaa elektroneja ja elektroniaukkoja kohti sirun liitoskohtaa kuten kuvassa 7 on esitetty. Liitoskohdassa elektronit ja elektroniaukot yhdistyvät. Yhdistymisen seurauksena elektroni siirtyy alemmalle energiatasolle, jonka seurauk-

senä vapautuu energiaa. Osa tästä syntyneestä energiasta emittoituu valoksi ja osa muuttuu lämmöksi./21./



**Kuva 7 Puolijohdesirun (Led) toimintaperiaate /21/**

### 8.6 Muut ominaisuudet

Ledissä on lisäksi muutamia mainitsemisen arvoisia hyviä ominaisuuksia muihin valaistus muotoihin verrattuna. Tärkeimmät näistä ovat:

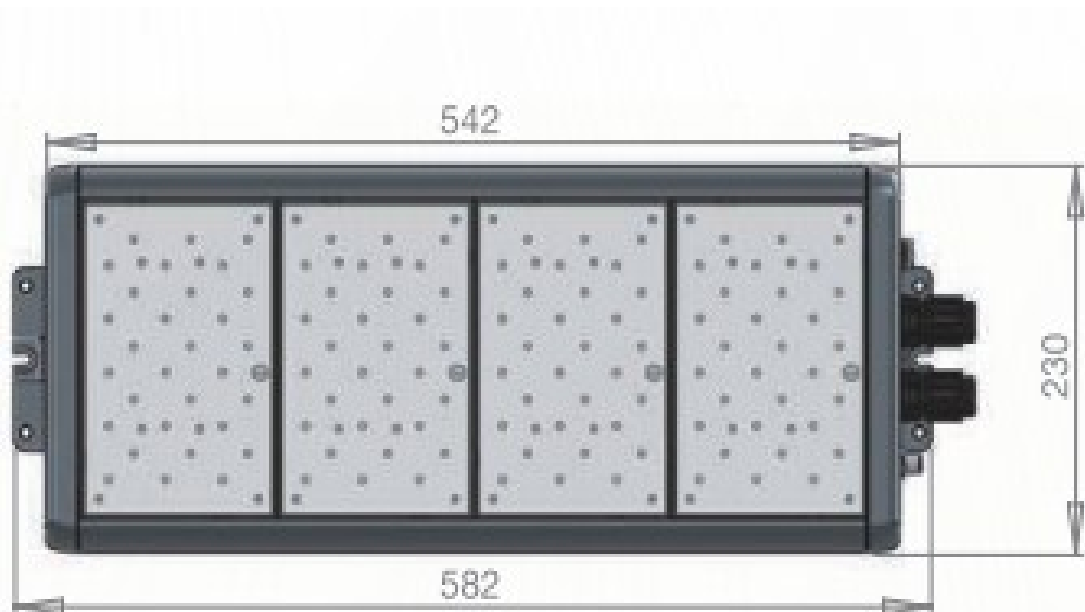
1. Alhainen sähkönkulutus.
2. Pitkä elinikä, joka voi olla jopa yli 100000 tuntia.
3. Vahva rakenne ja tärinänkesto.
4. Hyvä valontuotto alhaisissa lämpötiloissa.
5. Helppo säädettävyys.
6. Valo ei sisällä IR(lämpö)- ja Uv säteilyä.
7. Ei sisällä elohopeaa.
8. Toimii matalalla jännitteellä 1,7 - 3,6 VDC.
9. Valoa saadaan suunnattua helposti erilaisilla linseillä.
10. Suuri värivalikoima.
12. Välitön syttyminen. /3./

## 8.7 Valaisin

Vertailun vastakohtaksi valittiin Easy led Oy:n valmistama led-valaisin mallia Pro 500 Oslon120. Valaisin on esitetty kuvassa 8. /22./

Valaisin on varustettu 120 kpl ledejä. Valaisinta on saatavilla värilämpötila alueella 4000-6500K. Valaisimen ottoteho on 125W ja valovirta valaisimella on värilämpötilasta riippuen 12350/15000 lm. Tällöin käytettäessä värilämpötilaltaan 6500K lediä, valotehokkuudeksi valaisimelle saadaan n. 120 lm/W. Ra-indeksiksi ko. valaisimelle ilmoitetaan teknisen ohjeen mukaan värilämpötilasta riippuen > 70-82. Eliniäksi valaisimelle annetaan >80000h, 25° C ympäristön lämpötilassa, jolloin valotehokkuus on vielä 80 % tasolla. Ledin, kuten muidenkin valonlähteiden, katsotaan olevan loppuun palaneita, kun valonlähteen valotehokkuus on tippunut alle 70 % alkuperäisestä.

Valaisinta on saatavana usealla eri linssivaihtoehdolla, jotka mahdollistavat monta erilaista valoikeilan avautumiskulmaa. Linssiä on saatavana 30°/60°/80°/150°/170° kulmilla. Valaisin on himmennettävissä 1-10 VDC jänniteohjauksella, jolloin on mahdollista säätää valaistusta sen mukaan, onko kysymyksessä harjoittelu- vai pelitapahtuma. Valaisimen maksimi asennuskorkeudeksi luvataan 20m./23./



**Kuva 8 Easy led pro 500 /22/**

### 8.7.1 Uuden valaistuksen toteutus

Lähtökohtaisesti uuden valaistuksen suunnittelussa voidaan lähteä liikkeelle joko laskemalla tarvittava valaistusvoimakkuus ko. kohteessa tai laatia se aiemman kokemuksen perusteella /5/.

Valkealan tapauksessa suunnitelmassa lähdettiin liikkeelle aiemman kokemuksen perusteella. Mika Nummenpalo Easy led Oy:sta antoi lähtötiedot valaistussuunnittelulle. Lähtötiedoiksi sain noin arvion valaisimien lukumäärästä kaukalon osalle, tarvittavan valaistusvoimakkuuden saavuttamiseksi. Samoin sain tiedon, että kaukalon keskialue kannattaa valaista laajemmalla valonjakokulmalla varustetulla valaisimella ja reunat vastaavasti pienemmän valonjakokulman valaisimella. Suunnittelinkin valaistuksen Dialuxissa siten, että nykyiset neljä riviä valaisinripustuskiskoja puretaan kokonaan pois ja asennetaan ne uudelleen eri kohtaan. Näiden lisäksi lisätään kaksi uutta valaisinripustuskisko linjaa, jolloin valaisinripustuskiskolinjoja on yhteensä 6 kpl. Nämä kaikki valaisinripustus kiskolinjat asennetaan uuden suunnitelman mukaan samaan korkoon eli 6,5 metriin. Uudet valaisimet sijoitetaan kiskoihin siten, että keskialue valaistetaan 44 kpl Easy led pro 500 Oslon DEG 150 6000K -sarjan valaisimella, jossa valokeilan avautumiskulma on 150°. Kaukalon laiduille asennetaan 34 kpl Easy led pro 500 Oslon DEG 80 6000K -sarjan valaisimia. Valonjakokulma tässä valaisimessa on 80°. Uusia valaisimia siis asennetaan yhteensä 78 kpl. Tällä saatiin peliareenan osalle erittäin tasainen valonjako. Uuden valaistuksen 3D-mallinnus, valaisinluettelo, valonjakokäyrät sekä laskennasta saadut valaistusvoimakkuudet on esitetty erillisenä monisivuisessa liitteessä 3.

## 9 ELINKAARIKUSTANNUSLASKELMAT

Lopuksi tässä opinnäytetyössä esitetään näiden kahden valaistusmuodon välisen vertailun tuloksena syntyneet laskelmat ns. elinkaarikustannuslaskelmina. Laskelmat ovat esitetty 5, 10 ja 20 vuoden ajanjaksoille.

Lähtökohtana oli, että nykyinen valaistus on toimivassa kunnossa ja keväällä 2013 kauden päätyttyä sille suoritetaan lamppujen vaihto ns. ryhmävaihtona. Nykyisen va-

laistuksen kustannukset koostuvat siis pelkästään valaisimien huoltoon, lampun vaihtoihin sekä energiankulutukseen. Valaistus vertailussa on otettu myös huomioon päästöjen väheneminen, jotka esitellään erikseen pylväsdiagrammina.

### 9.1 Ledvalaistuksen investointikustannukset

Uuden led-valaistuksen kustannukset koostuvat uusien valaisimien hankinnasta, valaisimien asennuksen uudelleen sijoittelusta sekä energiankulutuksesta. Easy lediltä saamani tiedon mukaan uuden valaisimen mallia Pro 500 Oslonin hankintahinnaksi tulee Valkealan tapauksessa 420 €/kpl, joten valaisin hankinnan kokonaishinta on:

$$78 \cdot 420 \text{ €} = 32760 \text{ €}$$

Tämän hankintahinnan lisäksi valaisimien uudelleen sijoittelu ja vanhojen purku näyttelevät tässä tapauksessa ”kohtuullista” osaa kokonaiskustannuksissa. Suoritin kyselyn tältä osin kouvolaalaiselta sähköurakointiliikkeeltä ja pyysin urakkatarjouksen vanhojen valaisimien purkamisen, valaisinripustuskiskojen muutoksen sekä uusien valaisimien asennuksen ja johdotuksen osalta. Tarjouksen kokonaishinnaksi muodostui kaikkine tarvikkeineen ja työkuluneen 13900 €.

Alkuinvestoinnin kokonaiskuluiksi saadaan yhteen laskemalla valaisimien hankintahinta ja asennuskustannukset:

$$32760 + 13900 = 46660 \text{ €}$$

### 9.2 Säästöt

Ledvalaistuksesta syntyviä säästöjä koostuu energiakustannusten pienenemisenä, valaistuksen kokonaisottotehon laskemisen myötä. Jos nykyisen valaistuksen kokonaistehoa verrataan ledvalaistukseen, saadaan seuraavanlaisia tuloksia. Nykyisen valaistuksen osalta kokonaisottoteho on valaisimien lkm\*yhden valaisimen ottoteholla. Joten kokonaistehoksi saadaan:

$$48 \cdot 480 \text{ W} = 23040 \text{ W} \approx 23 \text{ kW}$$

Jos saatua tulosta verrataan korvaavaan ledvalaistukseen, jonka kokonaisottoteho on

$$78*125W=9750W,$$

huomataan kokonaisottotehon laskeneen lähes 60 prosenttia.

Laitosmiehiltä saamani tiedon mukaan Valkealan jäähallin päivittäinen valaistuksen käyttöaika on klo 7-23 eli yhteensä 16h/vrk. Hallin vuotuinen käyttöaika alkaa heinäkuun puolestavälistä jatkuen huhtikuun puoleenväliin eli yhteensä 9 kk. Joten vuotuisiksi valaistuksen käyttöajaksi saadaan:

$$16h*30pv*9kk=4320 h/v$$

Laskemalla vuotuinen sähkönkulutus molemmissa tapauksissa saadaan nykyiselle monimetallilampuilla toteutetulla valaistukselle kulutukseksi:

$$4320h*23kW=99360kWh=99,36MWh$$

Ledvalaistukselle vuotuisiksi sähkönkulutukseksi saadaan:

$$4320h*9,75kW=42120kWh=42,12MWh$$

Sähkönhinnan ollessa 0,1€/kWh saadaan vuotuisiksi euromääräisiksi energiakustannuksiksi monimetallilampuilla toteutetulle valaistukselle:

$$99360kWh*0,1€/kWh=9936 €/vuosi$$

Ledvalaistukselle samat kustannukset ovat:

$$42120kWh*0,1€/kWh=4212 €/vuosi$$

Tarkastelemalla edellä saatuja tuloksia vuotuisiksi euromääräiseksi säästökseksi valaistuksen osalta saadaan:

$$9936\text{€}-4212\text{€}=5724 \text{ €/vuosi}$$

Toinen seikka, jossa syntyy säästöä energiankulutuksessa, on se, että ledvalaistus ei lämpösäteile tehoaan jäänpintaan, kuten monimetallilampuilla toteutettu valaistus. Tämän ominaisuuden puuttuminen tuo energiansäästöä alentuneen jään jäädytykseen käytetyn jäähdystehon myötä. Monimetallilampuilla toteutettu valaistus aiheuttaa jäähän lämpökuormitusta sähkömagneettisen säteilyn välityksellä. Tämän lisäksi valaisimet lämmittävät hallin ilmaa konvektiolla eli kuljettamalla. Led-valaistuksessa lämmön siirtyminen tapahtuu pelkästään kuljettamalla. Jäähän kohdistuva lämpösäteilyn määrä on suoraan verrannollinen valaisimien sähkötehoon. Lämpösäteilyn ja ilmaan siirtyvän lämmön suhde riippuu käytetystä lampputyypistä ja valaisimen rakenteellisista seikoista. Valaisimien valmistajat eivät ilmoita tuote-esitteissään tätä suhdetta, joten valaistuksen jälle aiheuttaman lämpökuorman määrittäminen on jokseenkin hankalaa. Karkeasti voidaan kuitenkin arvioida säteilyn osuuden valaisimessa syntyvästä kokonaislämpökuormasta olevan 50–70 % ja ilmaan johtuvan osuuden 50 – 30 %. Jos oletetaan, että monimetallilampulla tämä lämpösäteilyn osuus valaisimen kokonaislämpökuormasta on 70 %, voidaan määritellä jäähän kohdistuva lämpökuorma tällä oletuksella. Tästä 70 % säteilylämmön osuudesta suurin osa n.60 % suuntautuu jäähän ja loput lämpösäteilystä ympäröiviin seiniin. Tästä edellä esitetystä voidaan vetää seuraavanlaiset johtopäätökset, että valaisimen kokonaissähkötehosta 42 % siirtyy lämpötehoon jäähän, 30 % ilmaan ja 28 % ympäröiviin pintoihin, muihin kuin jäähän (seinät, katto, ym.)/24./

Valkealan tapauksessa laskemalla tuo 42 % säteilemä lämpöteho saadaan:

$$23040\text{W}*0,42 \% \approx 9677\text{W}$$

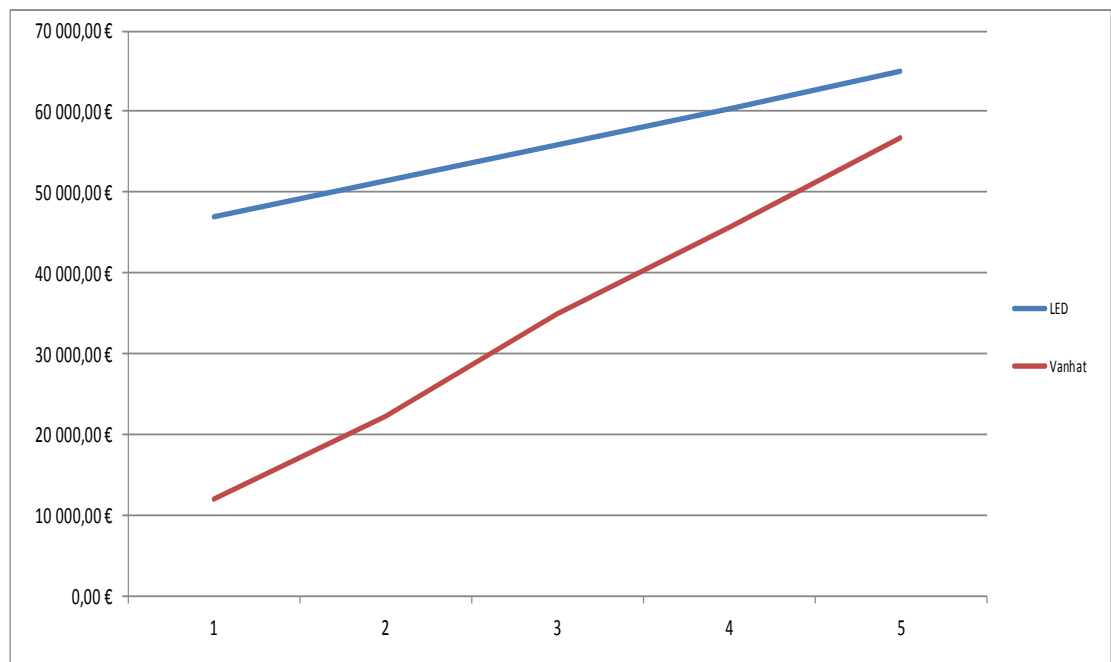
joka on melkein saman verran kuin uuden valaistuksen kokonaissähköteho!

Antamalla edellä mainitut lähtötiedot Easy lediltä saamaani laskuriin saadaan jäähdytykseen käytettävän tehon alenemisen myötä lisättyä sähkön säästöä vuodessa 1546 €. Tässä täytyy ottaa kuitenkin huomioon se seikka, että valaistuksen sähkökuorman pienentyessä lämmitys kasvaa tältä osin eli lämmitysjärjestelmä kuluttaa vastaavasti enemmän energiaa. Tässä tapauksessa, kun valaistuksen kokonaisteho alenee, niin tämä täytyy ottaa huomioon laskelmissa. Laskurista lämmityskustannusten muutokseksi saadaan -1087 €. Laskemalla kaikki tekijät huomioonottaen, vuosittain syntyväksi säästökseksi sähkölle saadaan:

$$9936 \text{ €} - 4212 \text{ €} - 1087 \text{ €} + 1546 \text{ €} = 6183 \text{ €}$$

### 9.3 Kokonaiskustannukset 5 vuotta

Tarkastellaan ensimmäiseksi kustannusten kehitystä viiden ensimmäisen vuoden jaksolla. Laskennasta saadut tulokset on esitetty kaaviossa 7.



Kokonaiskustannukset (LED 5 vuotta)	
Vaihtokustannukset	- €
Hankinta	46 644 €
Sähkö	22 324 €
<b>Yhteensä</b>	<b>68 968 €</b>
<b>Keskim. vuosikust.</b>	<b>13 794 €</b>

Kokonaiskustannukset (vanhat 5 vuotta)	
Vaihtokustannukset	2 016 €
Hankinta	2 016 €
Sähkö	52 752 €
<b>Yhteensä</b>	<b>56 784 €</b>
<b>Keskim. vuosikust.</b>	<b>11 357 €</b>

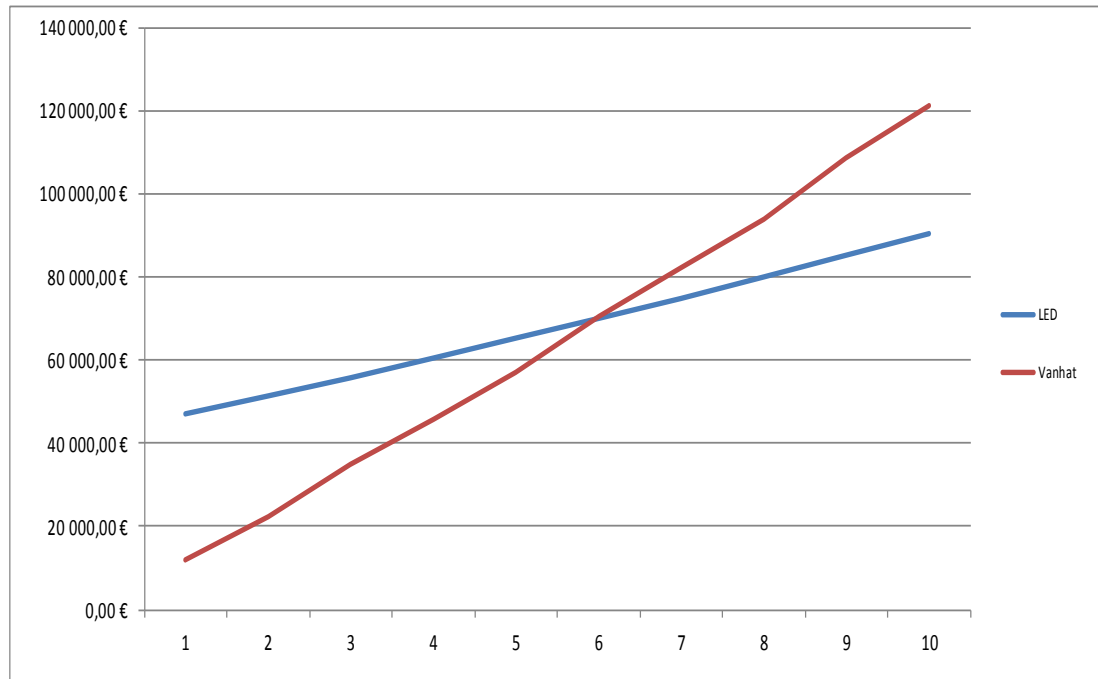
Säästö 5 vuoden jälkeen	
Vaihtokustannukset	2 016 €
Hankinta	-44 628 €
Sähkö	30 429 €
<b>Yhteensä</b>	<b>-12 183 €</b>
<b>Keskim. vuosisäästö</b>	<b>-2 437 €</b>

**Kaavio 7 Kokonaiskustannusten kehitys viiden ensimmäisen vuoden tarkastelujaksolla /23/**

Ensimmäisen 5 vuoden aikana led-valaistuksen hankintahinta ja asennuskustannukset jättävät tarkastelujakson vuosisäästöt vielä 2437 € miinukselle. Sähkönkulutuksessa säästöt ovat kuitenkin tällä jaksolla  $\approx 30000$  €.

#### 9.4 Kokonaiskustannukset 10 vuotta

Kymmenen käyttövuoden jälkeen kokonaiskustannukset ovat esitetty kaaviossa 8.



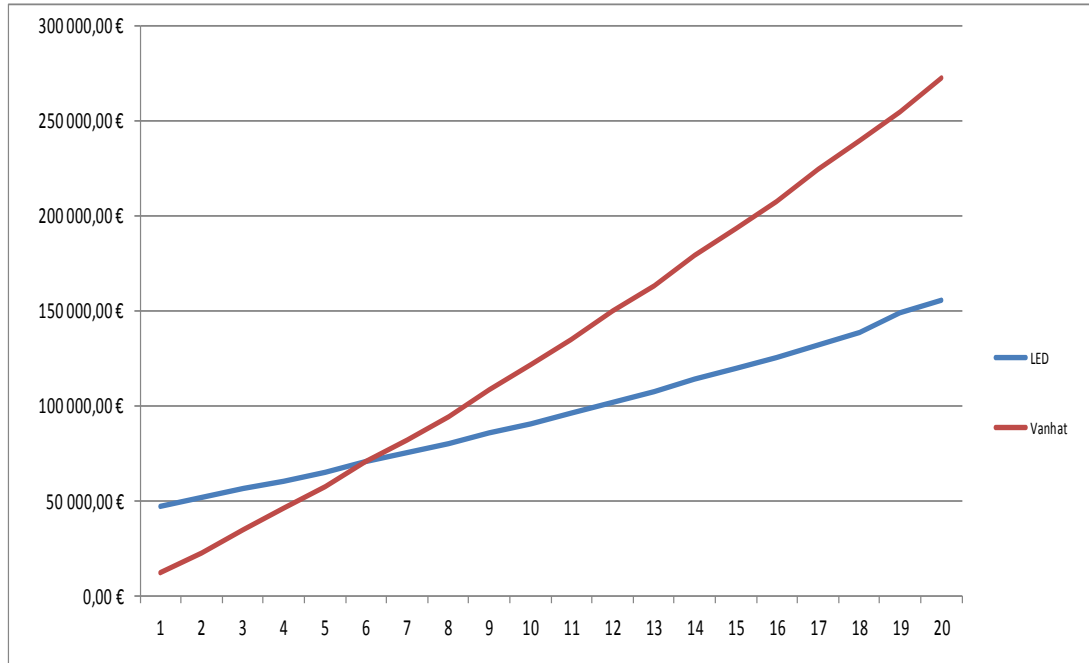
Kokonaiskustannukset (LED 10 vuotta)		Kokonaiskustannukset (vanhat 10 vuotta)		Säästö 10 vuoden jälkeen	
Vaihtokustannukset	- €	Vaihtokustannukset	6 048 €	Vaihtokustannukset	6 048 €
Hankinta	46 644 €	Hankinta	2 016 €	Hankinta	-44 628 €
Sähkö	47 806 €	Sähkö	112 970 €	Sähkö	65 164 €
<b>Yhteensä</b>	<b>94 450 €</b>	<b>Yhteensä</b>	<b>121 034 €</b>	<b>Yhteensä</b>	<b>26 584 €</b>
<b>Keskim. vuosikust.</b>	<b>9 445 €</b>	<b>Keskim. vuosikust.</b>	<b>12 103 €</b>	<b>Keskim. vuosisäästö</b>	<b>2 658 €</b>

#### Kaavio 8 Kokonaiskustannusten kehitys 10-vuoden tarkastelujaksolla /23/

Kaaviosta 8 on luettavissa valaistuksen uusinnan maksaneen itsensä takaisin 6 vuoden kuluttua investoinnista. Vanhalle valaistukselle menoja on koostunut ajanjaksolle sattuneesta kolmesta lampunvaihdosta yhteensä  $\approx 6000$  € ja hankinnasta 2000 €. Sähkönkulutuksen säästöt tällä tarkastelujaksolla ovat  $\approx 65000$  €. Led-valaistuksen alkuinvestointi huomioon ottaen kustannussäästöt ovat yhteensä  $\approx 26500$  € ja keskimääräinen vuosisäästö tällä ajanjaksolla 2658 €.

## 9.5 Kokonaiskustannukset 20 vuotta

Kaaviossa 9 on laskennasta saadut tulokset kokonaiskustannuksista esitetty 20 vuoden jaksolla.



Kokonaiskustannukset (LED 20 vuotta)	
Vaihtokustannukset	3 900 €
Hankinta	46 644 €
Sähkö	108 248 €
<b>Yhteensä</b>	<b>158 792 €</b>
<b>Keskim. vuosikust.</b>	<b>7 940 €</b>

Kokonaiskustannukset (vanhat 20 vuotta)	
Vaihtokustannukset	14 112 €
Hankinta	2 016 €
Sähkö	255 799 €
<b>Yhteensä</b>	<b>271 927 €</b>
<b>Keskim. vuosikust.</b>	<b>13 596 €</b>

Säästö 20 vuoden jälkeen	
Vaihtokustannukset	10 212 €
Hankinta	-44 628 €
Sähkö	147 551 €
<b>Yhteensä</b>	<b>113 135 €</b>
<b>Keskim. vuosisäästö</b>	<b>5 657 €</b>

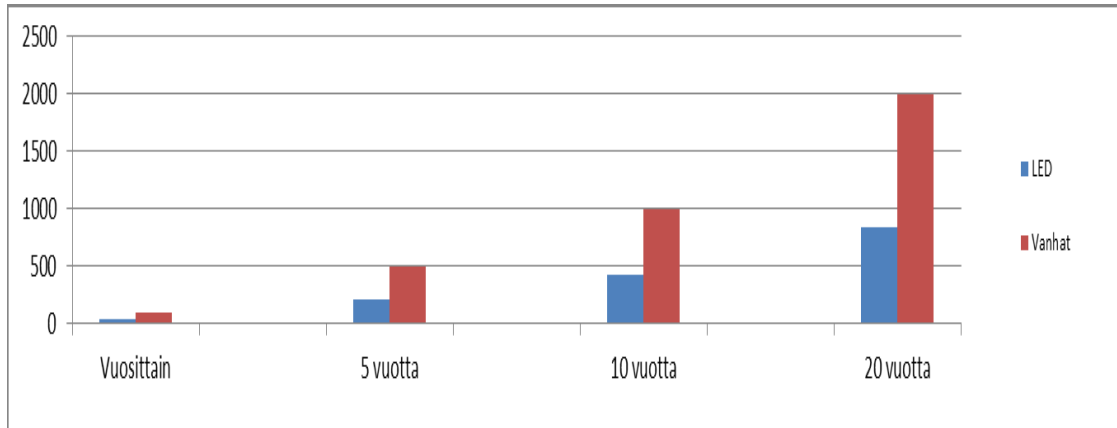
### Kaavio 9 Kokonaiskustannusten kehitys 20-vuoden tarkastelujaksolla /23/

Sähkösäästöä tällä ajanjaksolla on kertynyt 147551 €. Vanhalle valaistukselle menokustannuksia on kertynyt lampunvaihdosta ≈14000 € ja alkuhankinnasta ≈2000 €. Uudelle valaistukselle alkuinvestointi 46644 € ja ajanjaksolle ennakoitujen vaihtokustannukset arvioidaan olevan 3900 €. Nämä 3900 € kustannukset syntyvät valaisimien liitännälaitteiden arvioiduista vaihtokustannuksista. Nämä seikat laskennassa antavat kustannussäästöiksi 20-vuotisjaksolle ≈ 113000 €. Keskimääräinen vuosisäästö on tällöin 5657 €.

## 9.6 Sähkösäästö ja päästöt

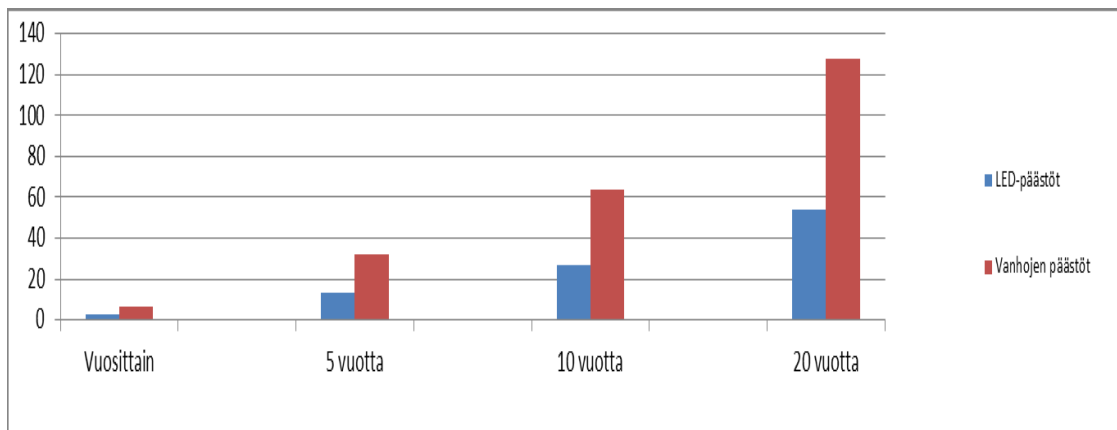
Seuraavissa kaavioissa on esitetty pylväsiagrammina molempien valaistusvaihtoehtojen sähkönkulutus (kaavio 10) ja syntyvät CO<sub>2</sub> – päästöt (kaavio 11) eri aikajaksoilla.

Sähkönkulutus Mwh	Vuosittain	5 vuotta	10 vuotta	20 vuotta
LED	42,12	210,6	421,2	842,4
Vanhat	99,5328	497,664	995,328	1990,656
<b>Säästö</b>	<b>57,4128</b>	<b>287,064</b>	<b>574,128</b>	<b>1148,256</b>



**Kaavio 10 Sähkönkulutus ja säästöt eri aikajaksilla /23/**

Päästöt CO <sub>2</sub> -tonnia	Vuosittain	5 vuotta	10 vuotta	20 vuotta
LED	2,70	13,48	26,96	53,91
Vanhat	6,37	31,85	63,70	127,40
<b>Päästöjen väheneminen</b>	<b>3,67</b>	<b>18,37</b>	<b>36,74</b>	<b>73,49</b>



**Kaavio 11 CO<sub>2</sub> päästöjen vertailu eri ajanjaksoilla /23/**

## 10 YHTEENVETO

Edellä esitettyjen laskelmien perusteella voidaan todeta, että valaistuksen uusinnalla saadaan säästöjä syntymään niin sähkönkulutuksessa kuin päästöissä. 20 vuoden tarkastelujakson aikana näitä säästöjä laskettiin syntyväksi 113000 €. Säästöä sähkönkulutuksessa olisi vielä mahdollista pienentää, jos uusi valaistus varustettaisiin himmennyksellä. Tällöin voitaisiin valaistusta säätää erikseen virkistyskäytön, harjoittelun ja otteluiden mukaan. Myös takaisinmaksuaikaa voitaisiin lyhentää lasketusta, jos työ suoritettaisiin ns. ”oppilastyönä” esimerkiksi ammattikoulun tai kurssikeskuksen toimesta. Syntyvien säästöjen vertailukohtana voidaan ajatella muodostuneen hinnan olevan suurin piirtein sama kuin yhden ns. perustason keskikokoisen omakotitalon hinta (Kouvolan hintatason mukaan). Eri asia on, riittääkö tällaisen säästön syntyminen päättäjille. Se jää nähtäväksi. Kouvolan kaupungin alueella jäähallien lukumäärä on 4 kpl ja jos oletetaan säästöjen olevan samankaltaisia kaikissa tapauksissa, niin näiden hallien kokonaissäästöt olisivat seuraavan 20 vuoden aikana n. 452000 €.

Jos kysymyksessä olisi kokonaan uuden hallin rakentamisesta ja siellä toteutettava valaistus, ei liene epäselvää, millä valaistusmuodolla hanke kannattaisi toteuttaa. Tässä pohdintana seuraava esimerkki. Kokemuksen mukaan, samanlaisten valaistusolosuhteiden aikaansaamiseksi, tarvitaan sama määrä valaisimia, joiden valonlähteenä on 250 W monimetallilamppu kuin tässä opinnäytetyössä esitelty ledvalaisin. Tällaisessa tapauksessa ledvalaistuksen takaisinmaksuaika on puolet nyt lasketusta eli 3 vuotta. Vähälle huomiolle ei voida tänä päivänä jättää myöskään valaistuksen uusinnasta syntyvien CO<sub>2</sub>-päästöjen huomattava väheneminen. Pelkän sähkönkulutuksen aleneman mukanaan tuoman rahallisen säästön lisäksi tällaista investointia voidaan pitää tulevaisuutta ajatellen ympäristöä säästävänä tekona.

Nykyinen valaistus Valkealan hallissa näyttää paikalla katsoen epätasaiselta. Silmämääräisesti katsottuna on havaittavissa ns. pimeämpiä alueita. Nykyiset valaisimet ovat iältään jo 20 vuotta vanhoja, joten lienee enemmän kuin todennäköistä, että valaisimien heijastinpinnat ovat myös auttamatta loppu. Tämä vielä yhdistettynä lopuiltaan olevaan lamppuun aikaansaa kaukalossa ilmenevän valon epätasaisuuden. Luonteeltaan jääkiekko pelinä on niin nopea, että tällaisen voi katsoa olevan pelaajalle jo jonkinasteinen turvallisuusriski. Toteuttamalla investointi saataisiin Valkealan jäähall-

liin valaistus, joka täyttäisi tämän päivän tarpeet valon tasaisuuden, energiankulutuksen,  $CO_2$ -päästöjen sekä Euroopan unionin valaistukselle asettamat vaatimukset tulevaisuudessa.

Investointia puoltaa myös EU:n vuonna 2009 antama ErP direktiivi. Erp direktiivi on puuttunut jo nyt ja tulee tulevaisuudessa puuttumaan myös suurpaineisten purkauslampujen valotehoihin. Tästä osoituksena direktiivin 2009/125/EC vaihe 2, joka kielittää mm. paksut T12 sarjan loisteputket sekä määrää, että vain energiatehokkaimmat suurpainenatrium- ja monimetallilamput saavat jäädä markkinoille. Tämä direktiivi jatkuu välivaiheella vuonna 2015, joka tulee poistamaan elohopeahöyrylamput kokonaan markkinoilta. Tämän lisäksi suoritetaan vuonna 2014 ns. välitarkastelu, jotta voidaan ottaa huomioon ledvalaistuksen kehittyminen. Tämä välitarkastelu voi aiheuttaa muutoksia myöhempiin määräyksiin. Ja lopuksi vuonna 2017 vaihe 3, jolloin kaikille monimetallilampuille on annettu energiatehokkuuden minimiarvot./3./

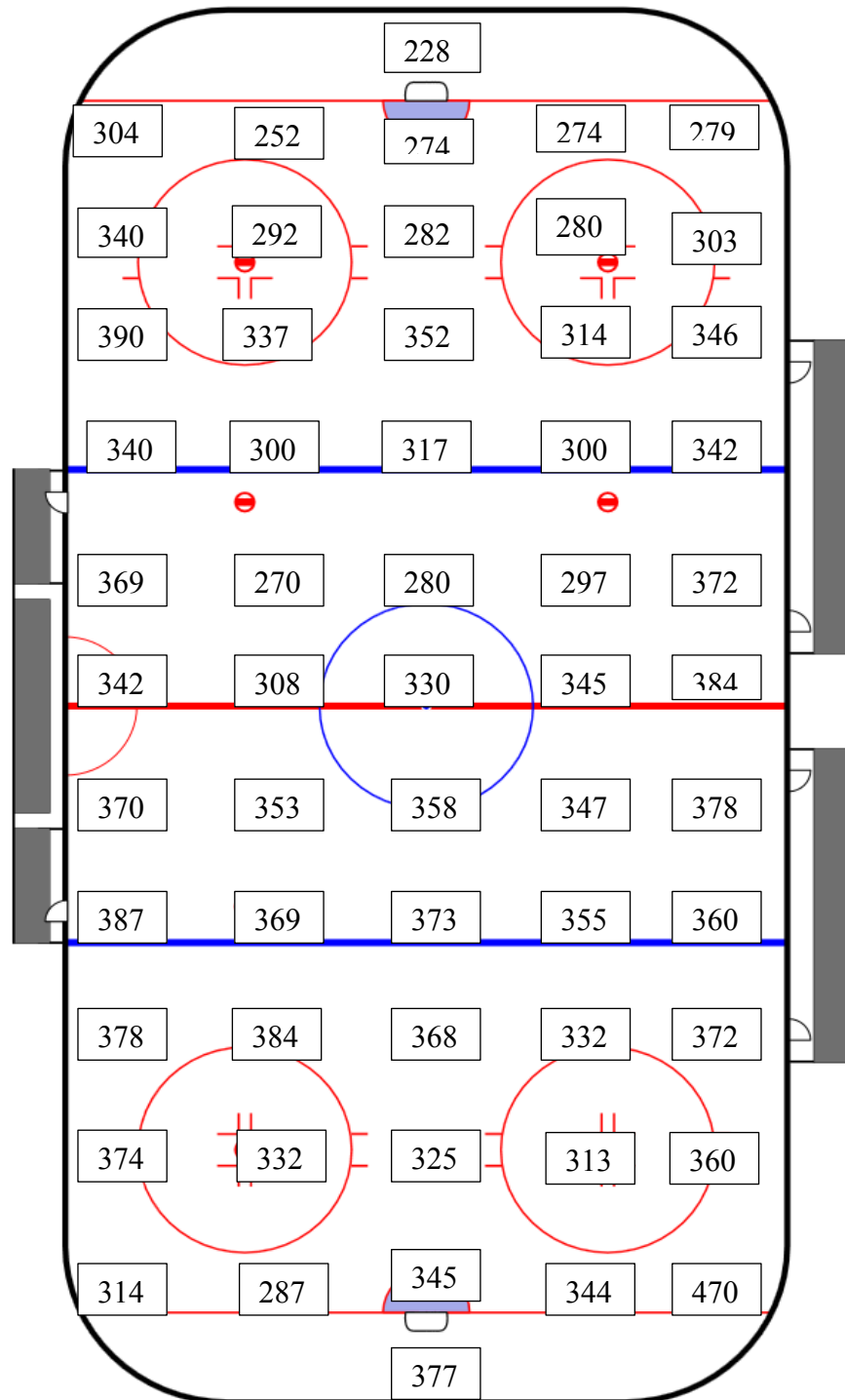
Tarkemmin tähän direktiiviin voi tutustua esim. osoitteessa <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:076:0003:0016:FI:PDF>

## LÄHTEET

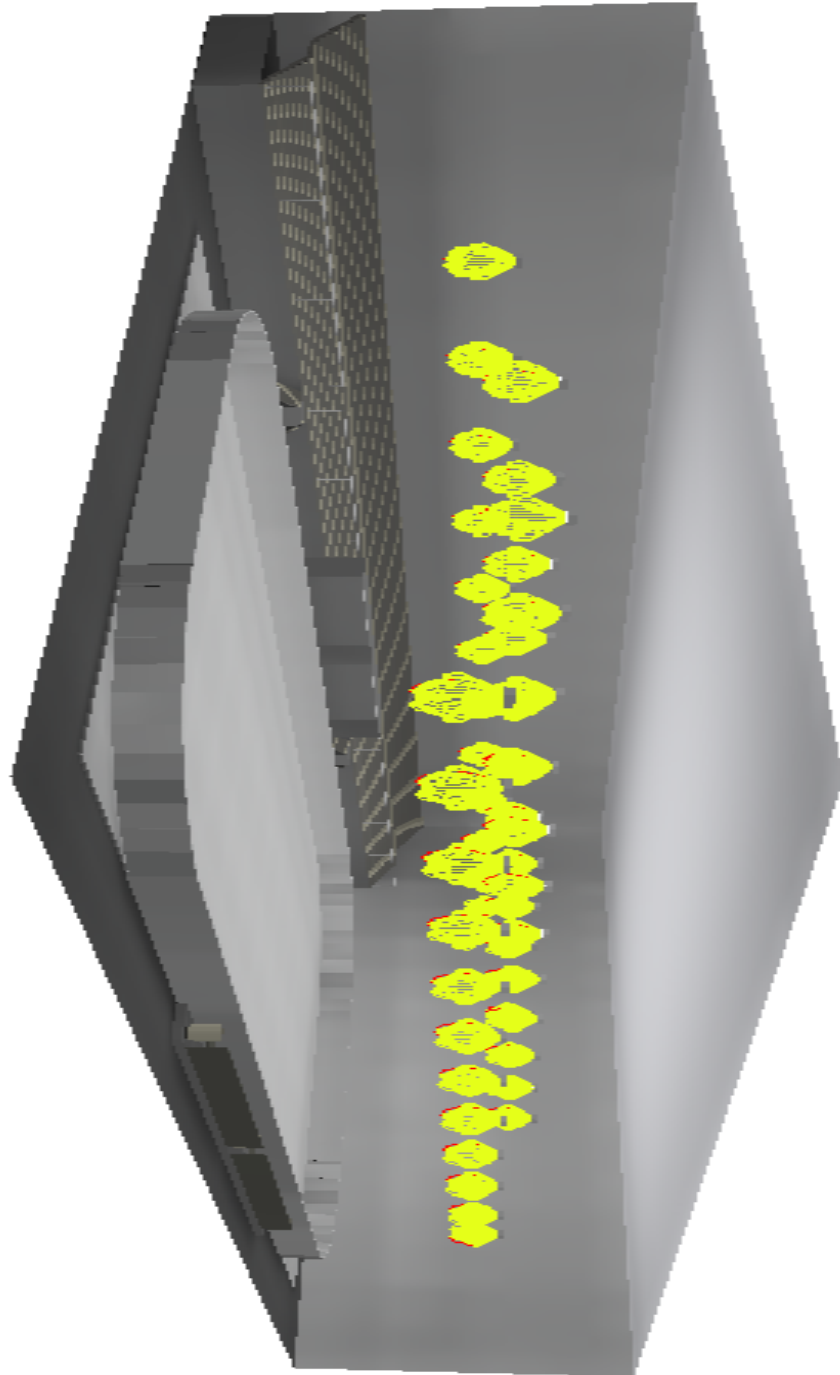
1. Liisa Halonen, Jorma Lehtovaara Valaistus tekniikka, Gummerus, Jyväskylä; 1992
2. Taloon 2013. Valaisininfo. Verkkodokumentti.  
[www.taloon.com/info/tietoa\\_rakentajalle/valaisininfo](http://www.taloon.com/info/tietoa_rakentajalle/valaisininfo)  
Päivitetty 12.4.2013. Luettu 12.4.2013
3. Kallasjoki 2013. Energiatehokas valaistus. Verkkodokumentti.  
[www.renewablesb2b.com/data/ahk\\_finland/publications/files/Kallasjoki.pdf](http://www.renewablesb2b.com/data/ahk_finland/publications/files/Kallasjoki.pdf)
4. Lampputieto 2013. Lamppujen ominaisuuksia. Verkkodokumentti.  
[www.lampputieto.fi/lamput/lamppujen-ominaisuuksia/](http://www.lampputieto.fi/lamput/lamppujen-ominaisuuksia/)
5. Suomen Sähköurakoitsijaliitto ry:n ja Suomen Valoteknillinen seura ry:n julkaisu, Valaistuksen laskenta, mittaukset ja huolto, Gummerus, Jyväskylä; 1996
6. Vapriikki 2013. Jääkiekon historiaa. Verkkodokumentti.  
[vapriikki.fi/jaakiekkomuseo/historia2.htm](http://vapriikki.fi/jaakiekkomuseo/historia2.htm)  
Päivitetty 27.10.2011. Luettu 14.4.2013
7. Finhockey 2013. Jäähallit Suomessa. Verkkodokumentti.  
[www.finhockey.fi/info/jaahallit/](http://www.finhockey.fi/info/jaahallit/)  
Päivitetty 15.4.2013. Luettu 15.4.2013
8. Suomen sähköurakoitsijaliitto ry:n ja Suomen valoteknillinen seura ry:n julkaisu, Valaistustekniikan käsikirja, Sähköurakoitsijaliiton koulutus ja kustannus Oy, Helsinki; 1985
9. Suomen valoteknillinen seura ry/valaistushankintojen energiatehokkuus taustaraportti toukokuu 2008.
10. sfs käsikirja 608 valaistusstandartit 2009 Helsinki
11. Sähkönumerot 2013. Tenmars 204. Verkkodokumentti.  
[www.sahkonumerot.fi/6770758/](http://www.sahkonumerot.fi/6770758/)  
Päivitetty 18.4.2013. Luettu 18.4.2013
12. Taloon 2013. Sterca Laajasäteilijä. Verkkodokumentti.  
[www.taloon.com/laajasateilija-sterca-9870-400-hst-hit-ip65/S-4404820/dp?ref=nosto\\_0000\\_katsoimyos](http://www.taloon.com/laajasateilija-sterca-9870-400-hst-hit-ip65/S-4404820/dp?ref=nosto_0000_katsoimyos)  
Päivitetty 20.4.2013. Luettu 20.4.2013
13. Ge Lighting 2013. Tekninen esite. Verkkodokumentti.  
[www.gelighting.com/LightingWeb/emea/images/Metal\\_Halide\\_Arcstream\\_Tubular\\_and\\_Elliptical\\_Lamps\\_Data\\_sheet\\_EN\\_tcm181-12562.pdf](http://www.gelighting.com/LightingWeb/emea/images/Metal_Halide_Arcstream_Tubular_and_Elliptical_Lamps_Data_sheet_EN_tcm181-12562.pdf)
14. Osram 2013. Monimetallilamppu. Verkkodokumentti.  
[www.osram.com/osram.com/products/lamps/high-intensity-discharge-lamps/metal-halide-lamps-with-quartz-technology/powerstar-hqi-t/index.jsp](http://www.osram.com/osram.com/products/lamps/high-intensity-discharge-lamps/metal-halide-lamps-with-quartz-technology/powerstar-hqi-t/index.jsp)  
Päivitetty 20.4.2013. Luettu 20.4.2013
15. Valosto 2013. Led perusteet ja edut. Verkkodokumentti.  
[www.valosto.com/tiedostot/LED\\_perusteet\\_ja\\_edut.pdf](http://www.valosto.com/tiedostot/LED_perusteet_ja_edut.pdf)
16. Led 2013. Easy Led. Verkkodokumentti.  
<http://www.led1.fi/fi/node/289>
17. Sähköala 2013. Ajankohtaista. Verkkodokumentti.  
[www.sahkoala.fi/ajankohtaista/artikkeleita/valaistus/fi\\_FI/leditekniikan\\_kehitys/\\_files/86245464101095570/default/Ledit\\_Sami\\_Suihkonen.pdf](http://www.sahkoala.fi/ajankohtaista/artikkeleita/valaistus/fi_FI/leditekniikan_kehitys/_files/86245464101095570/default/Ledit_Sami_Suihkonen.pdf)
18. Valosto 2013. Ledifaktoja. Verkkodokumentti.  
[www.valosto.com/tiedostot/LedifaktojaValomessut%202009\\_1.pdf](http://www.valosto.com/tiedostot/LedifaktojaValomessut%202009_1.pdf)
19. Oppimateriaalit 2013. Valaistustekniikka. Verkkodokumentti.  
[gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/honHar/ma/STEK\\_Valaistustekniikka.pdf](http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/honHar/ma/STEK_Valaistustekniikka.pdf)

20. Valosto 2013. Led valaisimen suunnittelu. Verkkodokumentti.  
[www.valosto.com/tiedostot/LED\\_valaisimen\\_suunnittelu.pdf](http://www.valosto.com/tiedostot/LED_valaisimen_suunnittelu.pdf)
21. Valosto 2013. Kohti valoa. Verkkodokumentti.  
[www.valosto.com/tiedostot/Kohti\\_valoa\\_Tetri.pdf](http://www.valosto.com/tiedostot/Kohti_valoa_Tetri.pdf)
22. Easy led oy pro sarjan tekninen esite
23. Easy led oy säästölaskuri
24. VTT 2013. Tiedotteet. Verkkodokumentti.  
[www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2010/T2548.pdf](http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2010/T2548.pdf)

Nykyinen valaistus mittaustulokset.



**LIITE 2(1).**  
**Nykyinen valaistus.**



## LIITE 2(2).

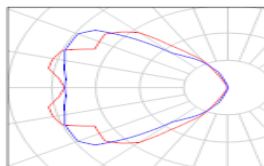
### Nykyinen valaistus.

48 Kappale

sterca 400 hit sterca 400 hit  
Tarjousnumero: sterca 400 hit  
Valoirta (Valaisin): 31956 lm  
Valoirta (Lampu): 33000 lm  
Valaisimen teho: 390,0 W  
Valaisimen luokitus CIE: 100  
Elektronikkakomponenttien valontakoodi: 55 88 99 100 97  
Varustus: 1 x HQI-T 400W/NSI (Korjaustekijä 1,000).

Löydät valaisimen kuvan valaisinluettelosta.

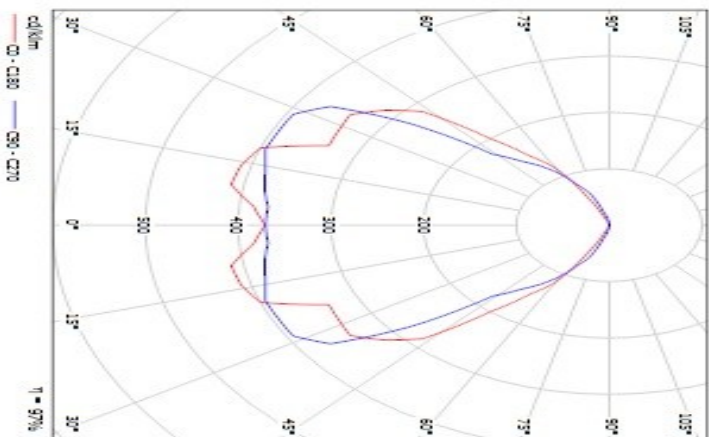
### Valealan jäähalli / Luettelo valaisimista



---

**sterca 400 hit sterca 400 hit sterca 400 hit / Valaisintietoarkki**

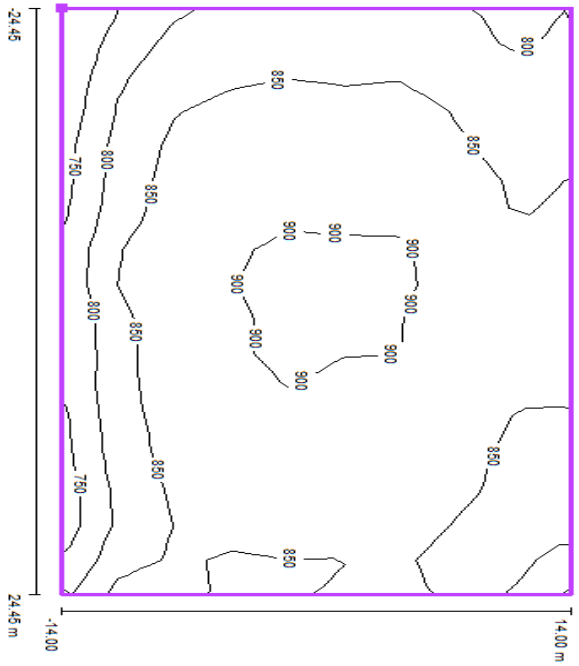
Löydät valaisimen kuvan valaisinuuttelosta



Valaisinten luokittelu CIE: 100  
Elektronikkakomponenttien valovirtakoodi: 55 88 99 100 97

LIITE 2(4).  
Nykyinen valaistus.

Tila 1 / Laskentarasteri 1 / Isolux-käyrät (E, kohtisuora)



Pinnan sijainti tilassa:  
Merkitty piste: (21,700 m, 21,100 m, 0,050 m)

Avot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1 : 350

Rasteri: 17 x 9 Pisteet

$E_m$  [lx]  
855

$E_{min}$  [lx]  
718

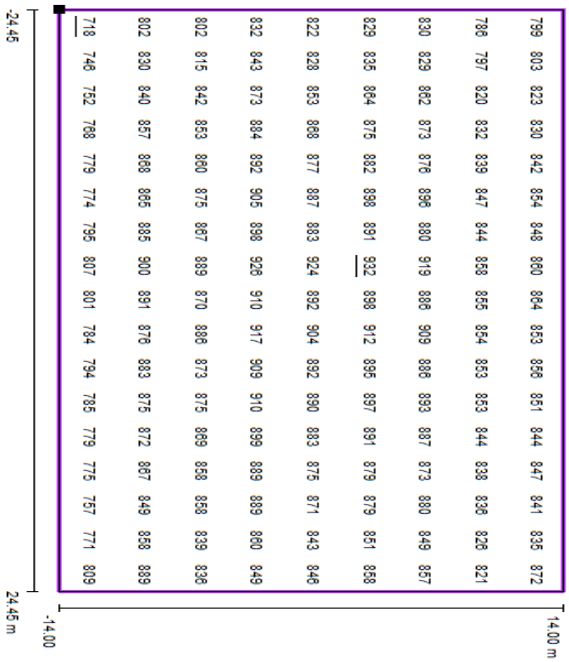
$E_{max}$  [lx]  
932

$E_{min} / E_m$   
0,84

$E_{min} / E_{max}$   
0,77

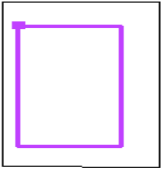
LIITE 2(5).  
Nykyinen valaistus.

Tila 1 / Laskentarasteri 1 / Arvokaavio (E, kohitsuora)



Avot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1 : 350

Pinnan sijainti tilassa:  
Merkitty piste: (21.700 m, 21.100 m, 0.050 m)



Rasteri: 17 x 9 Pisteet

$E_m$  [lx]  
855

$E_{min}$  [lx]  
718

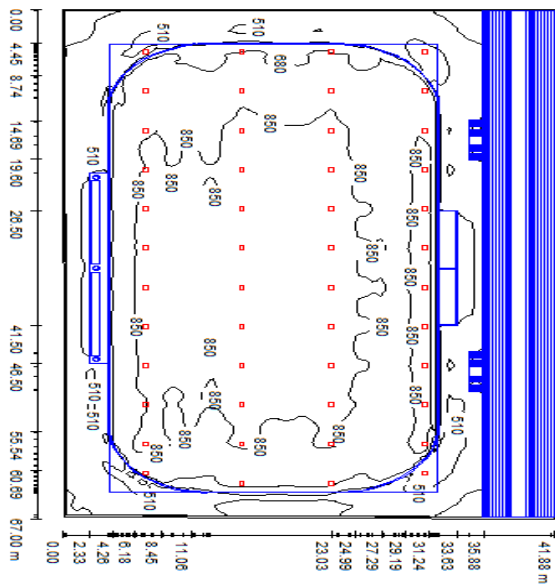
$E_{max}$  [lx]  
932

$E_{min} / E_m$   
0.84

$E_{min} / E_{max}$   
0.77

**LIITE 2(6).**  
**Nykyinen valaistus.**

**Tila 1 / Yhteenveto**



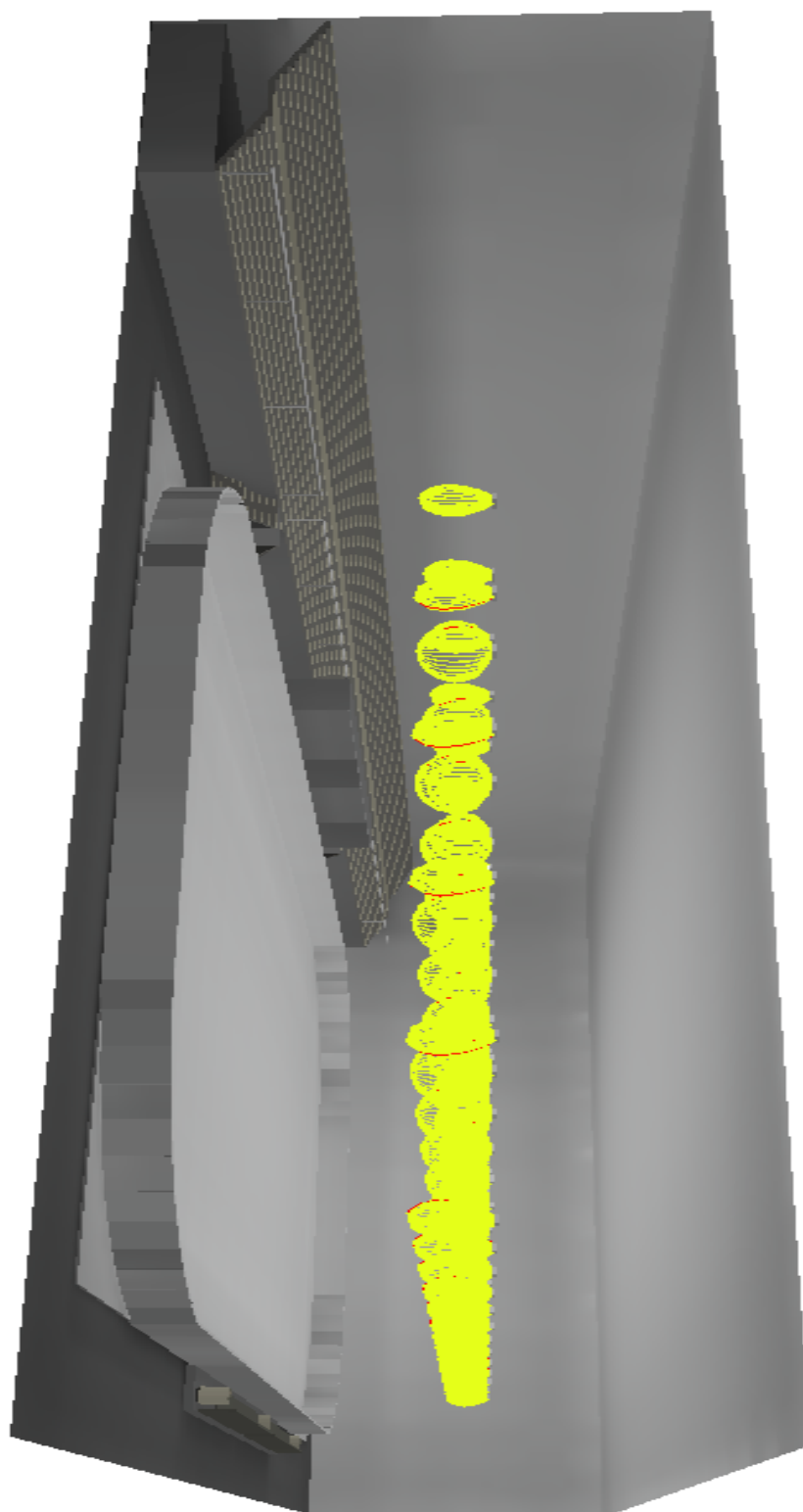
Tilan korkeus: 10,500 m, Huoltokerros: 0,80

Avoit (yksikkö) Lux, Mittalaava 1:538

Pinta	p [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Käyttötaso	/	710	135	971	0.190
Lattia	20	104	0.53	555	0.005
Katto	57	431	155	657	0.360
Seinät (4)	80	272	39	520	/

Käyttötaso:

**LIITE 3(1).  
Ledvalaistus.**

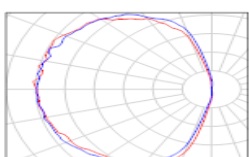


## LIITE 3(2). Ledvalaistus.

### Tila 1 / Luettelo valaisimista

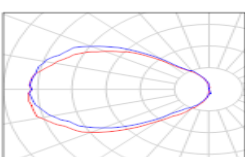
44 Kappale  
EASY LED OY PRO 500 OSLOIN 120 DEG 150 6000K\_320mA PRO 500 OSLOIN 120 DEG 150 6000K\_320mA  
Tavaranumero: PRO 500 OSLOIN 120 DEG 150 6000K\_320mA  
Valoirta (Valaisin): 15000 lm  
Valoirta (Lampun): 15000 lm  
Valaisimen teho: 125.0 W  
Valaisimen luokittelu CIE: 99  
Elektronikkakomponenttien valovirtakoodi: 36 68 92 99 100  
Vausutus: 120 x Osram Oslon (korjaustekijä 1.000).

Löydät valaisimen kuvan valaisimluettelosta.



34 Kappale  
EASY LED OY PRO 500 OSLOIN 120 DEG 80 6000K\_320mA PRO 500 OSLOIN 120 DEG 80 6000K\_320mA  
Tavaranumero: PRO 500 OSLOIN 120 DEG 80 6000K\_320mA  
Valoirta (Valaisin): 15000 lm  
Valoirta (Lampun): 15000 lm  
Valaisimen teho: 125.0 W  
Valaisimen luokittelu CIE: 98  
Elektronikkakomponenttien valovirtakoodi: 60 83 94 98 101  
Vausutus: 120 x LED (korjaustekijä 1.000).

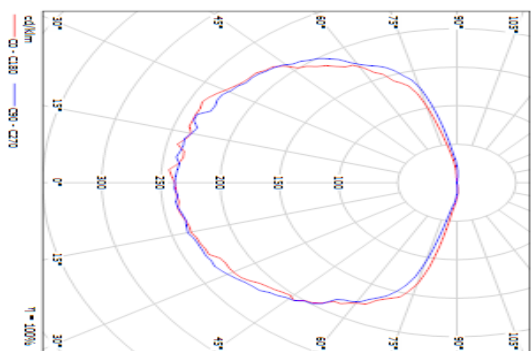
Löydät valaisimen kuvan valaisimluettelosta.



## LIITE 3(3). Ledvalaistus.

**EASY LED OY PRO 500 OSLON 120 DEG 150 6000K\_320mA PRO 500 OSLON 120 DEG 150 6000K\_320mA / Valaisintietoarkki**

Löydät valaisimen kuvan valaisintietelosta.



Valaisimen luokitus CIE: 99

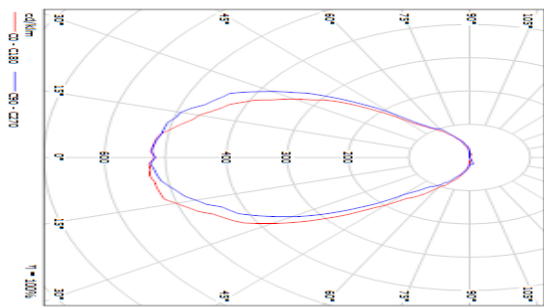
Elektronikkakomponenttien valointakoodi: 36 68 92 99 100

Puuttuvan symmetriaominaisuuksien takia ei tälle valaisimelle voida näyttää UGR-taulukkoa.

## LIITE 3(4). Ledvalaistus.

**EASY LED OY PRO 500 OSLO N 120 DEG 80 6000K\_320mA PRO 500 OSLO N 120 DEG 80 6000K\_320mA / Valaisintietoarkki**

Löydät valaisimen kuvan valaisintiedosta



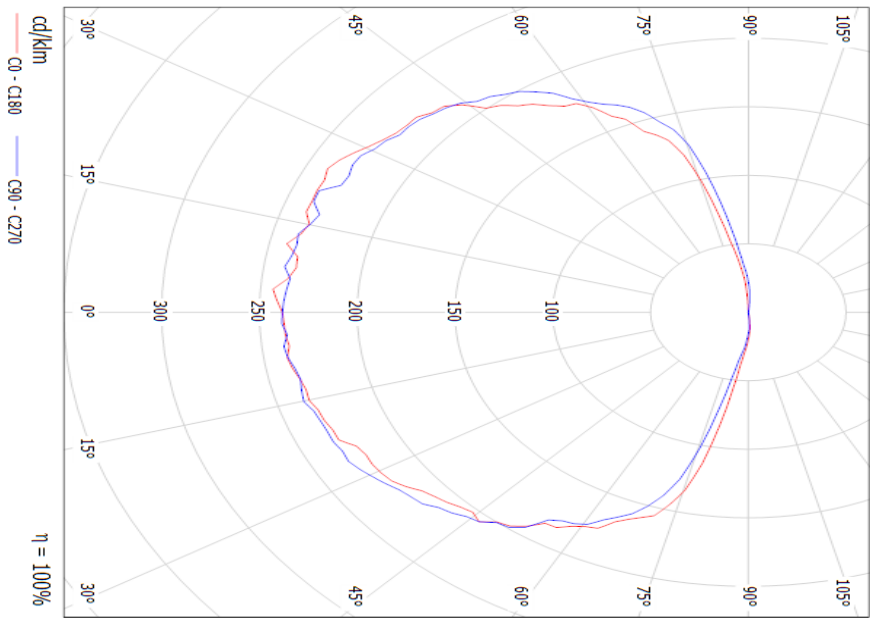
Valaisimen luokitus: CE: 98  
Elektronikkakomponenttien valotarkoitus: 60 83 94 98 101

Puuttuvien symmetriaominaisuuksien takia ei täällä valaisimelle voida näyttää UGR-luokkua.

# LIITE 3(5). Ledvalaistus.

## EASY LED OY PRO 500 OSLO 120 DEG 150 6000K 320mA PRO 500 OSLO 120 DEG 150 6000K 320mA / Valonjakautumiskäyrä (polaarinen)

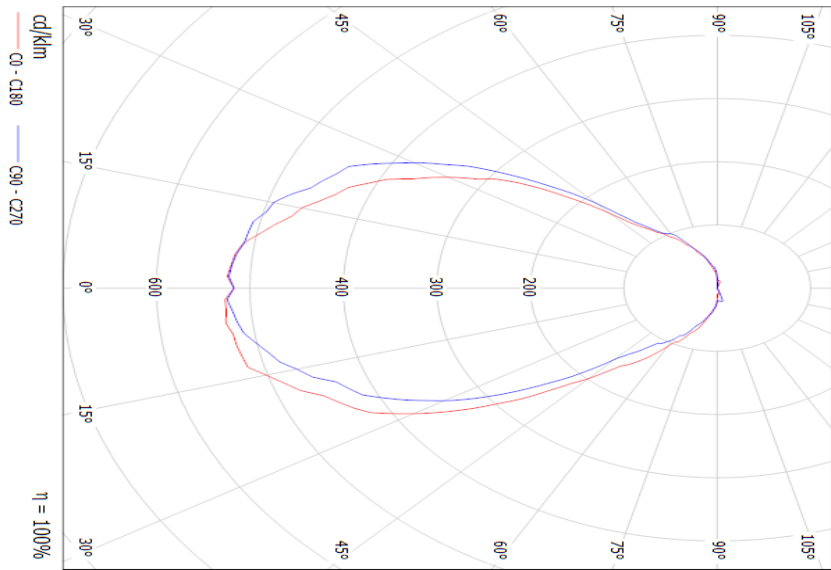
Valaisin: EASY LED OY PRO 500 OSLO 120 DEG 150 6000K 320mA PRO 500 OSLO 120 DEG 150 6000K 320mA  
Lamput: 120 x Osram Oslo



# LIITE 3(6). Ledvalaistus.

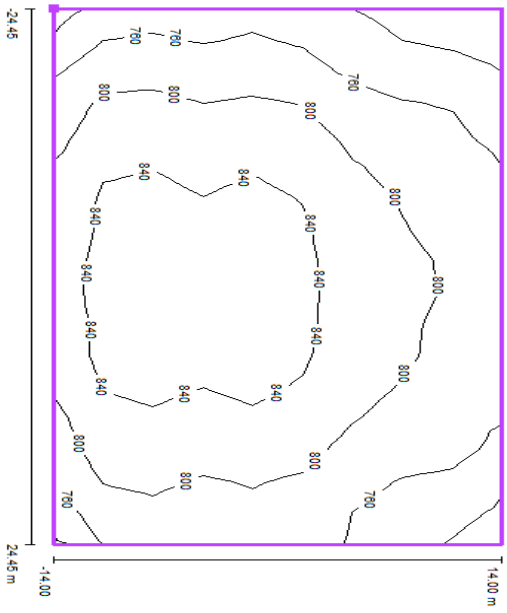
## EASY LED OY PRO 500 OS/ON 120 DEG 80 6000K\_320mA PRO 500 OS/ON 120 DEG 80 6000K\_320mA / Valonjakautumiskäyrä (polaarinen)

Valaisin: EASY LED OY PRO 500 OS/ON 120 DEG 80 6000K\_320mA PRO 500 OS/ON 120 DEG 80 6000K\_320mA  
Lampputyyppi: 120 x LED



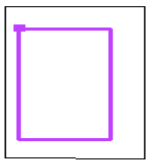
# LIITE 3(7). Ledvalaistus.

Tila 1 / Laskentarasteri 1 / Isolux-käyrät (E<sub>v</sub> kohtisuora)



Pinnan sijainti tilassa:  
Merkitty piste: (21.700 m, 21.100 m, 0.050 m)

Anot (yksikkö) Lux; Mittakaava 1 : 350



Rasteri: 17 x 9 Pisteet

$E_m$  [lx]  
802

$E_{min}$  [lx]  
692

$E_{max}$  [lx]  
875

$E_{min} / E_m$   
0.86

$E_{min} / E_{max}$   
0.79

# LIITE 3(8). Ledvalaistus.

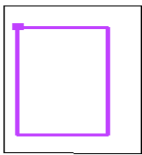
## Tila 1 / Laskentatasoni 1 / Arvokavio (E<sub>m</sub> kohtisuora)

892	716	745	752	783	781	778	779	790	782	790	787	773	783	758	732	713
710	732	759	773	784	788	799	803	811	806	804	805	792	783	773	750	736
714	726	750	767	783	793	800	805	806	806	804	800	794	779	764	744	744
742	755	780	800	811	825	834	838	840	838	839	832	824	812	794	779	772
756	770	796	818	834	844	851	855	860	858	857	852	840	830	812	795	793
757	769	795	814	832	842	851	856	857	857	855	851	844	828	811	791	792
744	761	787	804	817	831	837	844	847	841	846	839	827	819	801	783	779
766	786	816	830	845	861	863	866	875	869	868	869	852	844	832	809	797
730	757	783	798	809	825	829	830	839	834	830	832	815	801	794	771	747

14,00 m  
-14,00  
24,46 m  
-24,46

Annot (yksikkö) Lux: Mitataava 1 : 350

Pinnan sijainti tilassa:  
Merkitty piste: (21,700 m, 21,100 m, 0,050 m)



Rasteri: 17 x 9 Pisteet

$E_m$  [lx]  
802

$E_{min}$  [lx]  
692

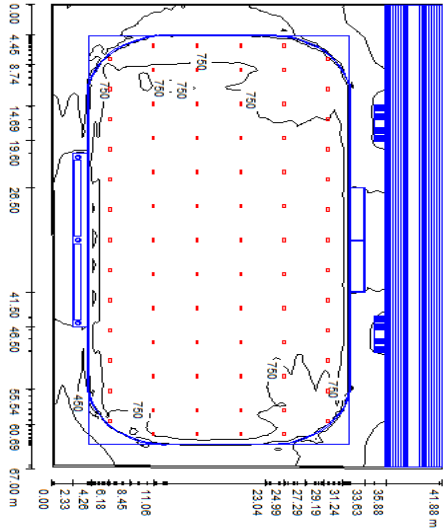
$E_{max}$  [lx]  
875

$E_{min} / E_m$   
0,86

$E_{min} / E_{max}$   
0,79

# LIITE 3(9). Ledvalaistus.

Tila 1 / Yhteenveto



Tilan korkeus: 10.500 m, Asemuskorkeus: 6.500 m, Huoltokerros: 0.80

Anot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1:538

Pinta	p [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Käyttötaso	/	668	175	899	0.263
Lattia	20	95	0.57	571	0.006
Katto	80	431	163	638	0.379
Seinät (4)	80	322	29	658	/

**Käyttötaso:**  
Korkeus: 0.100 m  
Rastit: 128 x 128 Pistel  
Reuna-alue: 0.200 m

## Luetelo valaisimista

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustietäjä)	$\Phi$ (Valaisin) [lm]	$\Phi$ (Lampit) [lm]	P [W]
1	44	EASY LED OY PRO 500 OSOLON 120 DEG 150 6000K_320mA PRO 500 OSOLON 120 DEG 150 6000K_320mA (1.000)	15000	15000	125.0
2	34	EASY LED OY PRO 500 OSOLON 120 DEG 80 6000K_320mA PRO 500 OSOLON 120 DEG 80 6000K_320mA (1.000)	15000	15000	125.0
			Yhteensä: 1170010	Yhteensä: 1170000	9750.0

Omanan verikon kytketty kuorma: 3.49 W/m<sup>2</sup> = 0.52 W/m<sup>2</sup>100 lk (Pohjapinta-ala: 2794.53 m<sup>2</sup>)