



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Alexander Maltusch

Urheilukenttä- ja liikunta-alueiden ulkovalaistuksen energiataloudellinen mitoitus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähköinen talotekniikka

Insinöörityö

21.1.2019

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Alexander Maltusch Urheilukenttä- ja liikunta-alueiden ulkovalaistuksen energiataloudellinen mitoitus 69 sivua + 1 liite 21.1.2019
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Ammatillinen pääaine	sähköinen talotekniikka
Ohjaajat	sähköinsinööri Niko Kivioja lehtori Tapio Kallasjoki
<p>Insinöörityön tavoitteena oli mitoittaa ja suunnitella Sipoonlahden koulun vieressä sijaitsevan uudistettavan Söderkullan urheilukentän ja liikunta-alueiden uusi ulkovalaistus energiataloudellisesta näkökulmasta. Työssä kartoitettiin urheilukentän ja liikunta-alueiden ulkovalaistuksen uudistamisen suunnittelua sekä eri ratkaisujen energia-, rakennus- ja ylläpitokustannuksia. Insinöörityö tehtiin Söderkullan urheilukenttähankkeen suunnittelun ohessa suunnittelun tukemiseksi. Hanke on osa Sipoonlahden Miilin alueen uudistamista.</p> <p>Insinöörityön toisena tavoitteena oli tutustua syvemmin ulkovalaistuksen ledivalaistuksen kokonaisuuteen valaistusasennuksen elinkaaren aikana sekä sen käyttäjäystävällisyyteen. Hankkeen sähkö- ja valaistussuunnittelu tehtiin MagiCAD- ja Dialux-ohjelmistolla. Elinkaarilaskelmat insinöörityötä varten tehtiin simuloimalla Excel-ohjelmalla.</p> <p>Insinöörityön tuloksena saatiin ledivalaistuksen ja olemassa olevan suurpainenatriumvalaistuksen elinkaarikustannukset ja niiden vertailu. Lisäksi saatiin kuntopolun ledivalaistuksen elinkaarikustannukset ja ohjaustavan vaikutukset niihin.</p> <p>Insinöörityön johtopäätöksenä ledivalaistus oli kannattava vaihtoehto Söderkullan hankkeessa ottaen huomioon, että urheilukenttäalueen sähköistys uusittiin ja kunnostettiin muutenkin. Pelkät valaisinvaihdot olemassa olevista suurpainenatriumvalaisimista ledivalaisimiin ei taloudellisista syistä kannata ledivalaisimien markkinahintojen takia. Jää nähtäväksi, kuinka laskelmissa saadut tulokset mukailevat todellisuutta.</p>	
Avainsanat	ulkovalaistus, urheilukenttä, energiataloudellisuus, LED

Author Title Number of Pages Date	Alexander Maltusch Energy Efficient Outdoor Lighting Design for Sports Fields and Sports Areas 69 pages + 1 appendix 21 January 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Professional Major	Electrical Engineering for Building Services
Instructors	Niko Kivioja, Electrical Engineer Tapio Kallasjoki, Senior Lecturer
<p>The goal of the thesis was to design new outdoor sports lighting from an energy efficient perspective for Söderkulla's outdoor sports track and field facility. Lifespan expenses for energy, construction and maintenance of different solutions were calculated and compared during the design process of the outdoor sports project, a part of a larger Sipoonlahti Miili urban area reconstruction.</p> <p>The second goal of the thesis was to deep dive into the overall benefits of LED-lighting in outdoor sports facilities, including the benefits in costs during the lifespan, as well as user-friendly lighting. The project was designed using MagiCAD and Dialux software and the expenses were simulated with Excel software.</p> <p>The results compare the lifespan costs of LED-floodlighting and the current high pressure sodium lamp floodlighting, and present the lifespan costs of LED-lighting in the sports track, with the cost effects of a dimming system.</p> <p>In conclusion, it was cost-effective to switch to LED-lighting in the Söderkulla project, due to the renewal and reconstruction of electrical installations in the multi-purpose sports facility. Just changing the current lighting to LED-lighting with no additional changes to the installation or control system would not have been cost-efficient due to the purchase expenses of new LED-lights.</p>	
Keywords	outdoor lighting design, sports, energy efficient, LED

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Suunnittelun lähtötiedot	2
1.1.1	Nykytilanne	3
1.1.2	Tehtävänanto	5
2	Urheilukentän ja liikunta-alueiden ulkovalaistussuunnittelu	7
2.1	Valaistustekniikan perussuureet	7
2.1.1	Näkeminen	7
2.1.2	Valon väriominaisuudet	8
2.2	Valonlähteet	9
2.2.1	Ledit	9
2.2.2	Perinteiset ja markkinoilta poistuneet valonlähteet	11
2.2.3	Valonlähteiden elinikä ja hyötypolttoikä	15
2.2.4	Kestävyys ja vanheneminen	17
2.2.5	Huoltokerroin	20
2.3	Valaistusvaatimukset	21
2.3.1	Jalkapallokentän valaistusvaatimukset	23
2.3.2	Skeittipaikan valaistusvaatimukset	24
2.3.3	Kuntopolun valaistusvaatimukset	25
2.4	Valaistuksen ohjausratkaisut	27
2.4.1	1–10 V ohjaus	27
2.4.2	DALI-ohjaus	28
2.4.3	DMX-ohjaus	28
2.4.4	Vakiovalovirtaohjaus	29
2.4.5	Vakiovalo-ohjaus	30
2.4.6	Radiotaajuuteen perustuva C2 SmartPlay-ohjausratkaisu	30
2.5	Ulkovalaistusverkon mitoitus	33
2.5.1	Ylikuormitussuoja	33
2.5.2	Oikosulku- ja kosketusjännitesuoja	34
2.5.3	Ylijännitesuojaus	35

2.5.4	Kaapelin mitoitus syötön automaattisen poiskytkennän kannalta	35
2.5.5	Jännitteen alenema	36
2.5.6	Maadoitus	36
2.6	Valaistusrakenteiden mitoitus	37
2.6.1	Valaisimien valinnan ja vertailun periaatteet	37
2.6.2	Pylväät ja mastot	39
2.6.3	Jalustat ja perustukset	40
3	Elinkaaren kustannusten laskennan periaatteet	42
3.1	Rakennuskustannukset	43
3.2	Energiakustannukset	44
3.3	Ylläpitokustannukset	46
4	Esimerkkikohde Säteriiniityn kenttä	48
5	Söderkullan urheilukentän alueen valaistusrakenne	50
5.1	Valaistusperiaate	52
5.2	Ohjausperiaate	54
6	Söderkullan urheilukentän alueen elinkaarilaskelmat	55
6.1	Rakennuskustannusten vertailu	57
6.2	Energiakustannusten vertailu	57
6.3	Ylläpitokustannusten vertailu	60
6.4	Elinkaarikustannusten vertailu	61
7	Yhteenveto	62
	Lähteet	65
	Kuvat	67
	Taulukot	69
	Liitteet	
	Liite 1. Dialux–valaistuslaskennan tulokset	

Lyhenteet

CIE	Comission Internationale de l'Eclairage. Kansainvälinen valaistuskomissio.
CLO	Constant Light Output. Valaisimen vakiovalovirtaohjaus.
CRF	Contrast Rendering Factor. Valaistustilanteiden kontrastitoistosuhde, joka ilmoitetaan CRF –arvolla.
D1-2017	Sähköinfo Oy:n julkaisema D1-2017 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista.
DALI	Digital Adressable Lighting Interface. Valaistuksen digitaalinen, osoitteellinen ohjausväylästandardi.
$E_{hor AVE}$	keskimääräinen horisontaalinen valaistusvoimakkuus
$E_{hor Min}$	pienin horisontaalinen valaistusvoimakkuus
EN	eurooppalainen standardi
EuP	Energy Using Products–direktiivi. Kutsutaan myös Eco Design –direktiiviksi.
$E_{vert Max}$	suurin horisontaalinen valaistusvoimakkuus
$E_{vert AVE}$	keskimääräinen vertikaalinen valaistusvoimakkuus
FCG	Finnish Consulting Group Oy. Suomalaisessa omistuksessa oleva konsulttiyritys.

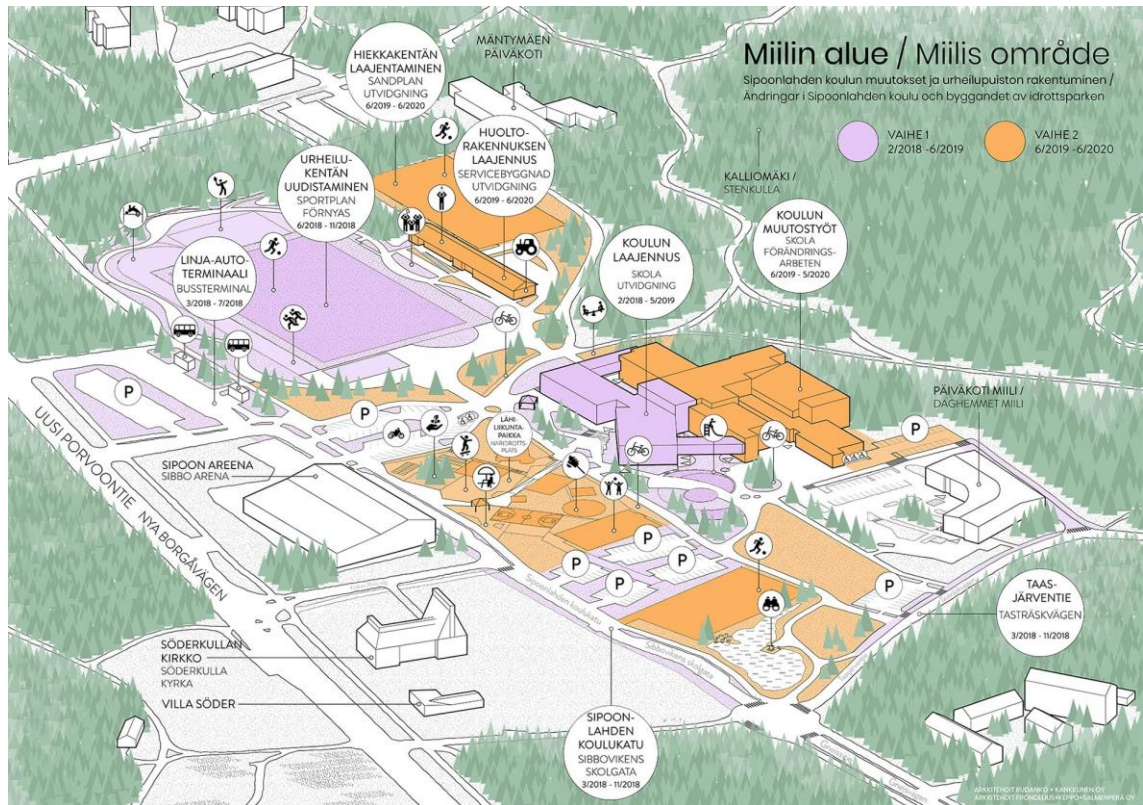
HCL	Human Centric Lighting. Ihmislähtöinen valaistus, jossa huomioidaan ihmisen vuorokausirytmii.
LED	Light Emitting Diode. Valoa lähettävä diodi.
PA	Principal Area. Alue, jolla urheilulajia harjoitetaan.
PIR	Infrapunailmaisii, joka reagoi sen valvonta-alueella liikkuvaan ympäristöön lämpimämpään kohteeseen.
R _G	häikäisyarvo
SFS	Suomessa vahvistettu standardi
TA	Total Area. Alue, johon PA-alue kuuluu ja sen lisäksi turva-alue.
U _{2hor}	Horisontaalisen valaistuksen tasaisuus, joka on keskimääräisen ja pienimmän horisontaalisen valaistusvoimakkuuden osamäärä.
U _{2vert}	Vertikaalisen valaistuksen tasaisuus, joka on keskimääräisen ja pienimmän vertikaalisen valaistusvoimakkuuden osamäärä.

1 Johdanto

Insinööriyössä mitoitetaan ja suunnitellaan Sipoonlahden koulun vieressä sijaitsevan Söderkullan ulkourheilukentän ja liikunta-alueiden ulkovalaistus. Insinööriyö tukee FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy:n tekemää kohteen ulkovalaistussuunnittelua ja sen etene- mistä. Työssä kartoitetaan urheilukentän ja liikunta-alueiden suunnittelua sekä ratkaisujen energia-, rakennus- ja ylläpitokustannukset. Valaistus suunnitellaan tinkimättä käyttäjien valaistuselämyksestä ja alueen turvallisuudesta. Valaistuksen suunnitteluun kuuluu paljon muutakin kuin pelkästään kustannusten tarkastelu. Näin ollen on hyvä pitää mielessä, että on muun muassa HCL- ja SenCity-valaistusprojekteja, jotka toimivat ihmislähtöisen valaistuksen pioneerikohteina. Tällaisia kohteita on jo Suomessa toteutettu, mutta tämän insinööriyön laajuuden vuoksi näitä asioita ei syvällisemmin käydä läpi, vaikka käyttäjämukavuuteen on kohteessa tähdätty. Tilaajan Sipoon kunnan pääpaino Söderkullan ulkourheilukentän suunnittelukohteessa on ollut nimenomaan energiataloudellisuus ja elinkaarilähtöinen suunnittelu. Söderkullan ulkourheilukentän tekonurmen lämmitysjärjestelmä muutetaan kaukolämmöstä geoenergiaan, joka on ensimmäistä laatuun Suomessa. Samaa energiatehokkuuden ja ympäristöystävällisyyden teemaa halutaan tilaajan puolesta soveltaa alueen ledivalaistuksessa ja älykkäässä valaistuksen ohjauksessa. Tässä kohteessa ei kilpailla edullisimmalla niin sanotulla liukuhihnasuunnittelulla vaan nimenomaan käyttäjämukavuudella ja vihreillä arvoilla, jotka ovat osa Söderkullan liikuntalaakson agenda. Insinööriyössä lasketaan ledivalaistuksen ja olemassa olevan suurpainenatriumvalaistuksen elinkaarikustannukset.

1.1 Suunnittelun lähtötiedot

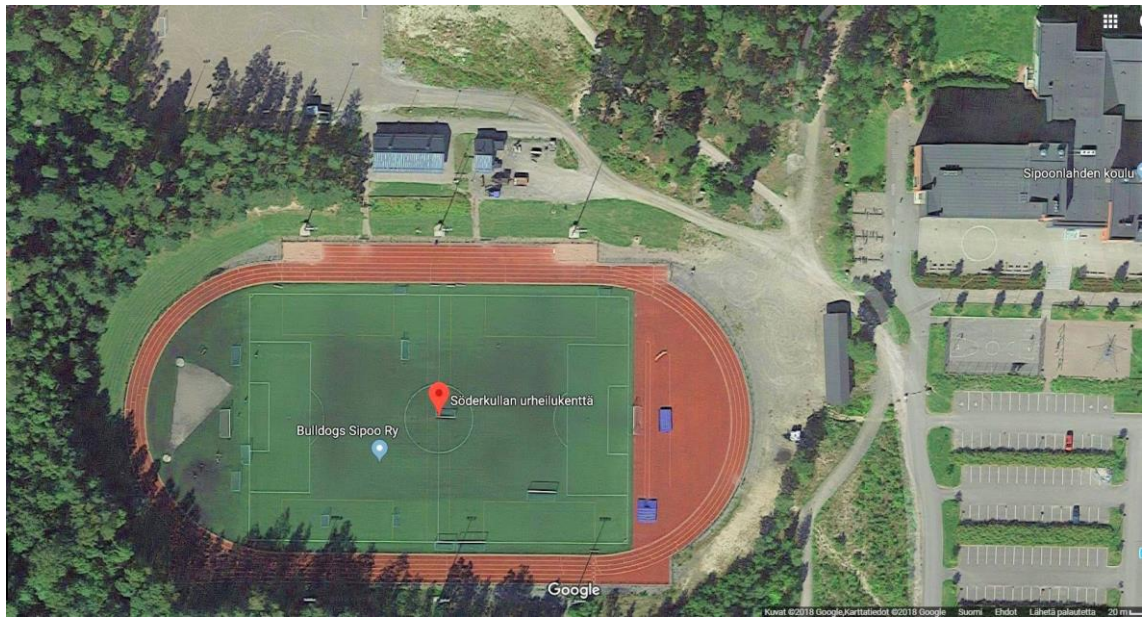
Tässä luvussa kartoitetaan Söderkullan urheilukentän ulkovalaistussuunnitteluun tarvittavat lähtötiedot. Kartoituksen pohjalta määritetään valaistuksen tarve ja listataan suunnittelussa huomioitavat valaistuksen laatuvaatimukset. Söderkullan urheilukenttä ja liikunta-alueprojekti ovat osa Miilin alueen rakennushanketta [kuva 1].



Kuva 1. Miilin alue Söderkullassa. Ensimmäinen vaihe toteutetaan vuonna 2018–2019 ja toinen vaihe toteutetaan 2019–2020.

Etelä-Sipoossa sijaitseva hankekokonaisuus alkoi keväällä 2018, kun Siponlahden koulun laajennus käynnistyi. Siponlahden koulu on vuosiluokkien 1.–9. yhtenäiskoulu. Koulun laajennus valmistuu kesällä 2019 ja nykyisen koulurakennuksen muutostyöt alkavat kesällä 2019. Täysin uudistunut koulu ja oppimisympäristö otetaan käyttöön syksyllä 2020. Söderkullan urheilukentän ja liikunta-alueen rakennustyöt aloitettiin 2018 kesällä. Niiden on määrä valmistua kesäkuussa 2019. Samaan aikaan Miilin alueella on käynnissä koulun laajennus- ja muutostyön sekä urheilukentän lisäksi Miilin alueen katu- ja linja-autoterminaalien rakentaminen. [1]

1.1.1 Nykytilanne



Kuva 2. Kuvankaappaus Google Maps-sovelluksesta. Otettu: 16.7.2018.

Söderkullan urheilukenttä sijaitsee osoitteessa Neiti Niilintie 3, 01150 Sipoo [kuva 2]. Sipoonlahden koulun vieressä sijaitsevan kentän välittömässä läheisyydessä ei ole asutusta, mutta lähitöllä rakennetaan uusia asuinrakennuksia. Alueella on yksi tekonurmikenttä, yleisurheilun suorittamispaikkoja, huoltorakennus, pukukopit ja hiekkakenttä. Tekonurmikentän mitat ovat 100 x 63 metriä. Sisäkäytössä ovat pukuhuoneet, suihku- ja WC-tilat sekä huoltorakennus. Pääsääntöisesti urheilukenttää ja liikunta-aluetta käyttävät harrastetason joukkueet ja koulun oppilaat liikuntatunneilla. Harrastemahdollisuuksia ovat muun muassa amerikkalainen jalkapallo, jalkapallo ja yleisurheilu. Tekonurmikentän vieressä sijaitsevan pienemmän hiekkakentän valaistusta ei käsitellä tässä työssä, mutta se on osana Miilin alueen uudistusta. [1]



Kuva 3. Nykyiset valaisinmastot ja ryhmäkeskus. Kuva Sipoon kunta.

Urheilukenttä on valaistu purkauslampuilla kuudesta 20-metrisestä mastosta. Ne sijaitsevat molemmin puolin kenttää, etelä- ja pohjoispuolella, ja mastoissa on kolmesta neljään kappaletta valaisimia. Vanhaa valaistussuunnitelmaa ei ollut, joten valaisimien speksit ovat arvioituja. Kuvista pääteltiin, että nykyiset valaisimet ovat Philips Optivision SON-T purkausvalaisimia. Yhden valaisimen tehoksi arvioimme 1 000 wattia kuvassa näkyvien liitännälaitteiden perusteella. Nykyisen valaistuksen yhteisteho on noin 22 000 wattia. Jokaisella mastolla on oma pylväskeskus, johon on sijoitettu valaisimien liitännälaitteet sekä keskuslähdet [kuva 3].

Pylväskeskuksia syöttää alueen huoltorakennuksessa sijaitseva pääkeskus. Nykyinen valaistuksen ohjaus on toteutettu perinteisellä kellokytkimellä.



Kuva 4. Pukukoppialue ja huoltorakennus. Kuva FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy.

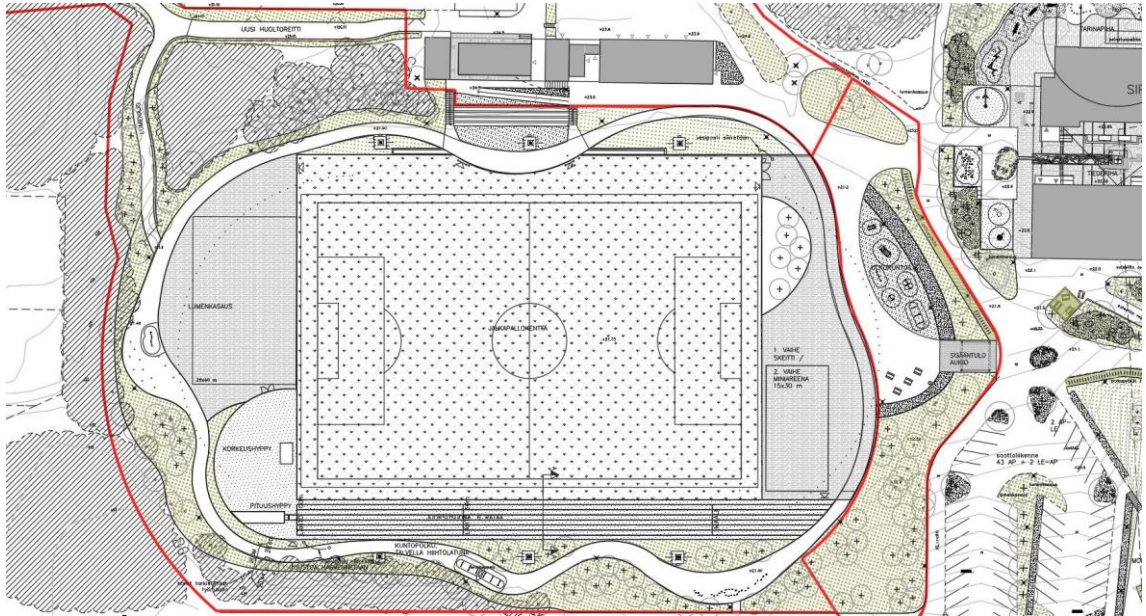
Huoltorakennuksen ja pukukoppien kulkureitit ovat valaistu puistovalaisimilla, ja rakennusten välitön läheisyys seinään asennetuilla valaisimilla [kuva 4]. Tämä valaistus uusitaan seuraavassa urakkavaiheessa. Tässä työssä käsiteltävään alueeseen eivät kuulu huoltorakennuksen tai sen lähialueen valaistussuunnittelu. Liikunta-alueella ei ole muuta valaistusta kentän ja kulkureittien lisäksi.

Koulun piha-alue ja pihatiet sekä parkkipaikat ovat valaistu, mutta nykyinen valaistus uusitaan Sipoonlahden koulun laajennus- ja muutostöiden yhteydessä. FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy on mukana näissäkin projekteissa. Pienemmän hiekkakentän valaistus uusitaan myös toisessa urakkavaiheessa, eikä siihen puututa tässä työssä.

1.1.2 Tehtävänanto

Urheilukentän perusparannuksena tehdään urheilukentän pintojen ja suorituspaikkojen uusinta ja tekonurmen lämmitysjärjestelmä muutetaan kaukolämmöstä geoenergiaan. Näiden myötä tehdään tarvittavat muutokset huoltorakennukseen. Sipoonlahden koulun laajennuksen, piha-alueiden muutostöiden sekä liikenneväylien muutosprojektien lisäksi alueella on suunnitteilla hiekkakentän ja huoltorakennuksen saneerausprojekti, jotka ovat oma urakkansa, mutta liittyvät vahvasti urheilukenttä-projektiin. Valaistus uusitaan

koko alueella, mutta olemassa olevia valaisinpylväitä ja -mastoja, sekä maakaapelointia hyödynnetään, mikäli se on kunnan puolesta mahdollista. Sipoon kunta suunnittelun tilaajana toivoi alueelle energiatehokkaampaa valaistusta ja modernimpaa ohjausjärjestelmää, joka voidaan halutessa integroida toimimaan yhdessä TIMMI-ajanvarausjärjestelmän kanssa.



Kuva 5. Alueen yleissuunnitelma ja urakkaraja.

Kuvassa 5 on esitetty alueen yleissuunnitelma, suunnittelualue ja urakkaraja. Alueen suunnittelu ja toteutus on vaiheistettu, joten insinööriyössä keskitytään ainoastaan ensimmäiseen urakka-alueeseen. Se pitää sisällään jalkapallokentän, kuntopolun ja ulko-kuntoilupaikan valaistuksen suunnittelun. Lisäksi sähkösuunnitteluun kuuluu täältä osin webkamera- ja kentän lämpötila-anturivaraukset. Suunnittelun aloituskokouksessa tavoitteeksi asetettiin kentän monikäyttöisyyden lisääminen ja tarkoituksenmukaisuuden parantaminen. Kenttäalue olisi uudistuksen jälkeen luonteva ja toiminnallisesti monipuolinen osa Sipoonlahden koulun alueelle rakentuvaa liikuntalaaksoa. Kentän toiminnot kuten; jalkapallo, juokseminen, hyppääminen ja heittäminen, sijoittuvat alueelle edelleen osin uudelleensijoitetuina.

2 Urheilukentän ja liikunta-alueiden ulkovalaistussuunnittelu

2.1 Valaistustekniikan perussuureet

Valovirta Φ kuvaa valonlähteen tietyllä hetkellä lähettämää valon määrää. Valovirran yksikkö on luumen lm. [2, s. 2]

Valovoima I kuvaa valon intensiteettiä eli valonlähteestä tiettyyn suuntaan lähtevää valon voimakkuutta. Valovoima on valaistustekniikan perussuure. Muut valaistustekniikan yksiköt ovat johdettu tästä. Valovoiman yksikkö on kandela, cd. Yksi kandela vastaa yhden kynttilän valovoimaa. [2, s. 2]

Valaistusvoimakkuus E kertoo tietyn pinnan valovirran tiheyden. Valaistusvoimakkuuden yksikkö on luksi lx, joka voidaan ilmaista myös luumen neliometriä kohden lm/m^2 . [2, s. 2]

Luminanssi L eli valotiheys ilmaisee pinnasta havaitsijan suuntaan lähtevän valovoiman ja projektiopinta-alan suhteen. Luminanssin yksikkö on kandela neliometriä kohden cd/m^2 . [2, s.2]

2.1.1 Näkeminen

Fotooppinen näkeminen eli päivänäkeminen tapahtuu silmässä tappisolujen toimesta. Skotooppinen näkeminen eli hämäränäkeminen tapahtuu puolestaan silmässä olevilla sauvasoluilla. Ulkovalaistuksen yhteydessä puhutaan usein mesooppisesta näkemisestä, jolloin tappi- ja sauvasolut toimivat yhtä aikaa. Kansainvälinen valaistuskomissio CIE on määrittänyt fotooppisen ja skotooppisen näkemisen tilanteille omat silmänherkkyyskäyränsä. [2, s. 1]

Adaptoituminen eli sopeutuminen ja akkommodoituminen eli mukautuminen ovat keskeisiä toimintoja ihmisen näköaistin kannalta. Silmä sopeutuu valaistustilanteisiin säätämällä verkkokalvon valoherkkyttä sekä silmään pääsevän valon määrää muuttamalla pupillin kokoa. Silmän taittovoima taas mukautuu eri etäisyyksien tarkasteluun. Lähietäisyyden näkötehtävässä silmän sädelihakset supistuvat, jolloin mykiö kuperoituu ja taittovoima kasvaa. [2, s. 2]

Näöntarkkuuden yksikkö on visus, V , ja normaali näkökyky on $V = 1,0$. Näöntarkkuuden yksikkö ilmaisee, kuinka pieniä yksityiskohtia voidaan nähdä. Näkötehokkuus ilmaisee, kuinka nopeasti ja virheettömästi näkötehtävä voidaan suorittaa. Näkeminen perustuu luminanssi- ja värierojen havaitsemiseen eli luminanssikontrastiin. Pimeällä ei kuitenkaan nähdä värieroja, jonka lisäksi näkökohteessa voi olla värieroja, vaikkei ilmenisikään luminanssikontrastia. Kontrasti voi olla positiivista, jolloin vaalea kohde erottuu tummaa taustaa vasten. Negatiivinen kontrasti on päinvastainen tilanne. Kontrastin suhteellinen arvo lasketaan pintojen luminansseista kaavalla [1]

$$K = \frac{(L_{vaalea} - L_{tumma})}{L_{vaalea}} . \quad (1)$$

Valaistustilanteiden kontrastitoistosuhde ilmoitetaan CRF–arvolla, joka on lyhenne sanoista Contrast Rendering Factor. Luku ilmoittaa tutkittavassa valaistuksessa mitatun kontrastin ja referenssitilassa mitatun kontrastin suhteen. Harsoheijastuminen alentaa kontrastia ja heikentää näkemistä. Harsoheijastuminen on valaistavan pinnan kuvastuminen näkökohteessa. [2, s. 1]

2.1.2 Valon väriominaisuudet

Valon värilaji määritellään värilämpötilan Kelvin-asteiden avulla. Se kuvaa hehkusäteilijän valon väriä kyseisessä lämpötilassa. Alle 3 300 K:n värilämpötilan valaisimet luokitellaan lämpimän sävyiseksi, kun taas yli 5 300 K:n mielletään kylmän sävyiseksi.

Valaisimen värintoiston hyvyttä kuvataan värintoistoindeksillä. Käytetyin värintoistoindeksi on yleinen värintoistoindeksi eli R_a –indeksi, CRI eli Colour Rendering Index, jonka arvot ovat 0...100. R_a –indeksi >90 on erinomainen, kun taas ≤ 70 on tyydyttävä. Indeksillä on määritetty niin, että kahdeksan testiväriä värinnettä verrataan vertailuvalossa saatavaan väripisteeseen. Lamput, joiden värilämpötila on 2 300...5 000 K, vertailtava valo on hehkusäteilijä. Sen vuoksi hehkulamppujen ja halogeenilamppujen värintoistoindeksit ovat lähellä arvoa 100. Yli 5 000 K:n lamppuja verrataan päivänvalostandardeihin. R_a –indeksi kuvaa vain sitä, kuinka lähellä tutkittavan valon värintoisto on vertailuvalonlähde. R_a –indeksi onkin huono vertailuväline valonlähteille, joiden spektri on epäjatkuva ja joiden spektrissä esiintyy teräviä piikkejä. Tällaisia ovat esimerkiksi ledit. [2, s. 2]

Ihmiset mieltävät valkoisessa valossa ja alhaisilla valaistustasoilla kohteiden havaitsemisen helpommaksi verran verrattuna keltaiseen valoon. Tämä johtuu ääreisnäöstä. Lisäksi alhaisilla valaistustasoilla valkoinen valo koetaan kirkkaammaksi kuin keltainen valo, vaikka valaistustasot olisivat samat. Jalankulkijat mieltävät valkoisen valon yleensä turvallisemmaksi suhteessa keltaiseen valoon. Leveä spektriset valonlähteet aiheuttavat helpommin häikäisyä. Häikäisyyn vaikuttaa erityisesti lyhyet aallon pituudet, joten mitä korkeampi on väriämpötila, sitä korkeampi on häikäisyn vaikutelma. [3, s. 88]

TLCI eli Television Lighting Consistency Index on European Broadcasting Unionin valonväri-indeksi televisiokuvaamiselle. Indeksillä ilmoitetaan välillä 0...100, jossa 100 on täydellinen televisiokuvaamiselle.

2.2 Valonlähteet

Tässä luvussa käsitellään perinteisiä ja jo markkinoilta poistuneita valonlähteitä, jotta lukijalle syntyy kosketuspinta LED-tekniikan hyödyille ja haitoille. Söderkullan suunnittelun tilaajan, Sipoon kunnan, linjaus alueen valaistuksesta oli, että kuntopolun valaisimet täytyvät olla samaa valaisintyyppiä kuin Sipoonlahden koulun pihalle suunnitteilla olevat ledivalaisimet. Asiakas myös toivoi urheilukenttää valaistavaksi ledivalonheittimillä. Söderkullan valaistusta käsitellään luvussa 5.

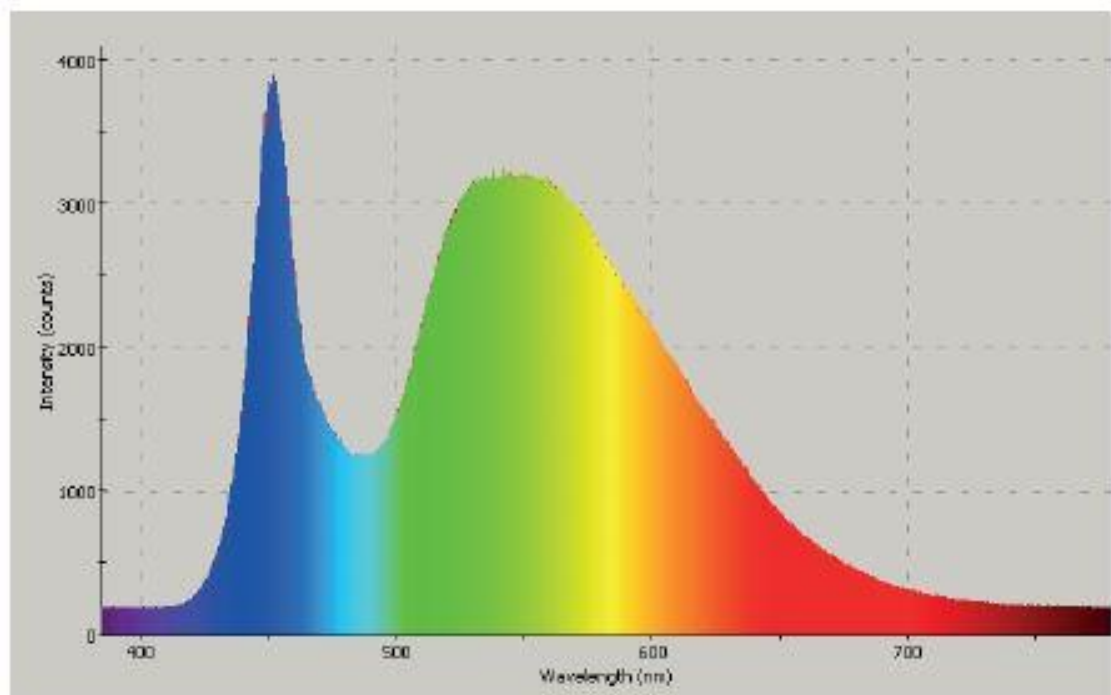
2.2.1 Ledit

Ledeillä toteutetaan yhä kasvavassa määrin tie- ja katuvalaistuksia, puistovalaistusta sekä kohde- ja korostusvalaistussovelluksia. Ledi on hohtodiodi eli puolijohdekomponentti, joka säteilee valoa sen ollessa kytkettynä myötäjännitteeseen eli myötäsuuntaiseen tasavirtaan. Sen takia lyhenne LED tarkoittaa valoa lähettävää diodia ja tulee sanoista Light Emitting Diode. Jotta ledejä voidaan hyödyntää verkkojännitteessä ne vaativat virtalähteen, joka muuttaa vaihtovirran tasavirraksi. Sen vuoksi ledien yhteyteen asennetaan virtalähde. Ledit eivät lähetä lämpö- tai ultraviolettisäteilyä. Energia, joka ei poistu ledistä säteilemällä, jää lämmittämään lediä. Sen takia ledit soveltuvat erinomaisesti ulkovalaistuksen käyttötarkoituksiin. Mikäli ledin sisällä oleva lämpötila nousee liian korkeaksi, saattaa se lyhentää ledin elinikää ja alentaa sen tuottamaa valovirtaa. Ledin lämpötilan säätelyksi esimerkiksi suurtehoisissa valaisimissa ledit asennetaan niin sa-

nottuina pintaliitoskomponentteina. Näissä valaisimissa LED-sirussa oleva lämpö siirretään lämpönielun kautta piirilevyyn ja valaisimen jäähdytyslementteihin tai runkoon. [4, s. 3–4]

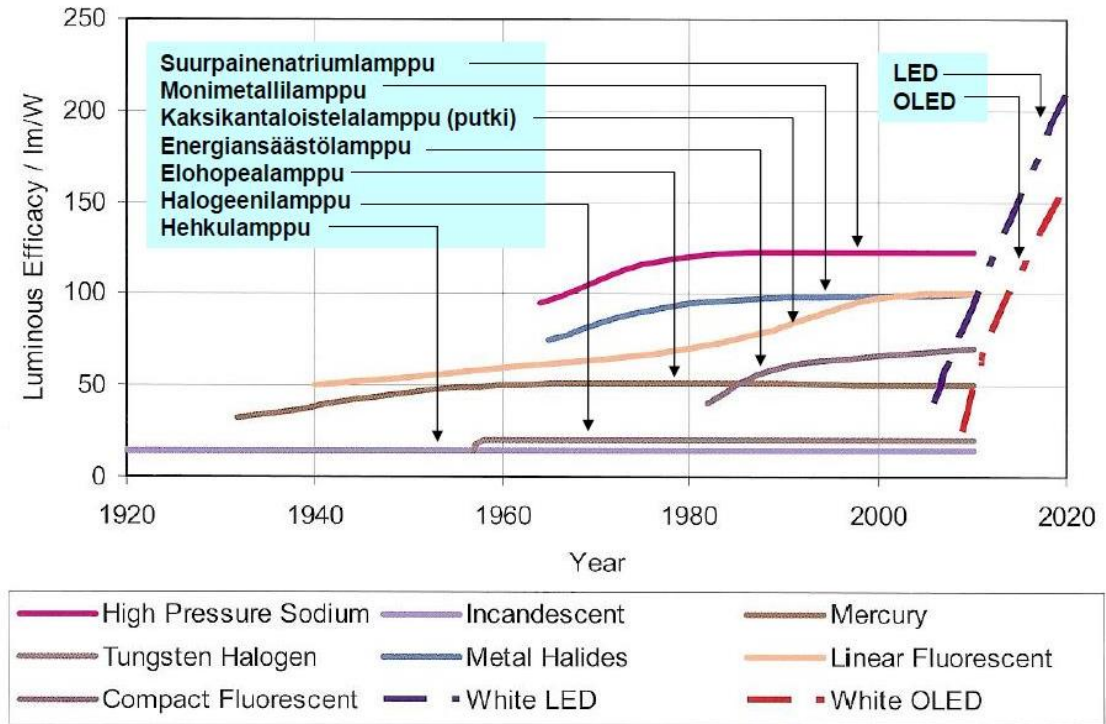
Ledien lähettämän valon väri riippuu, millä aineilla puolijohteet on saostettu. Valkoista valoa tuotetaan kahdella eri tavalla. Yleisin tapa on käyttää sinistä valoa säteilevää lediä, jonka valo muutetaan halutuksi päällystämällä ledi keltaisella loisteaineella tai erillistä loisteainekalvoa. Loisteaineella valospektri laajenee muille taajuusalueille, jolloin saadaan valkoista valoa. Muuttamalla loisteaineen ominaisuuksia voidaan ledeistä tehdä erisävyisiä. Kylmänsävyinen ledi tuottaa enemmän valoa kuin lämminsävyinen.

Toinen tapa on yhdistää valaisimeen eri värejä säteileviä ledejä. Niin sanottuja RGB-valaisimia tuotetaan asettamalla piirilevyille eri värejä säteileviä ledejä, jotka sijaitsevat väriavaruuden eri puolilla. RGB lyhenne tulee sanoista Red, Green, Blue eli punainen, vihreä ja sininen. RGB-valaisimessa eri värejä säteilevien ledien valonjaot sulautuvat toisiinsa, jolloin valon värikoostumusta voidaan vaihdella [kuva 6]. Kuva on Tapio Kallasjoen luentokalvolta Valaistus ja energia.



Kuva 6. Tyypillisen siniseen lediin pohjautuvan valkean ledin spektri. [5]

Ledit soveltuvat korvaamaan käytännössä kaikki markkinoilla olevat ja jo poistuneet valaisimet. Sähköverkkoa mitoittaessa täytyy huomioida, että ledien kuorma ei ole resistiivistä, joten verkosta otetun virran käyrämuoto säröytyy, mikä aiheuttaa verkkoon yliaaltoja. Lisäksi vaihdettaessa olemassa olevaan asennukseen säädettäviä ledejä voi tämä aiheuttaa säätöongelmia. [4, s. 3–4]



Kuva 7. Eri valonlähteiden valotehokkuuksien kehittyminen. [5]

Ledien ja oledien valotehokkuus paranee koko ajan, kun teknologia kehittyy. Uusia tuotteita ilmestyy markkinoille jatkuvaa tahtia [kuva 7]. Kuva on Tapio Kallasjoen luentokalvolta Valaistus ja energia. Oledejä ei käsitellä tässä työssä, sillä ne eivät ole toistaiseksi yleistyneet ulkovalaistusmarkkinoilla eivätkä ne sovellu kohdevalaistukseen.

2.2.2 Perinteiset ja markkinoilta poistuneet valonlähteet

Tässä luvussa käydään läpi ulkovalaistuksessa käytettyjen perinteisten sekä jo markkinoilta poistuneiden valonlähteiden ominaisuuksia.

Taulukko 1. Lamppujen keskimääräisiä ominaisuuksia [4].

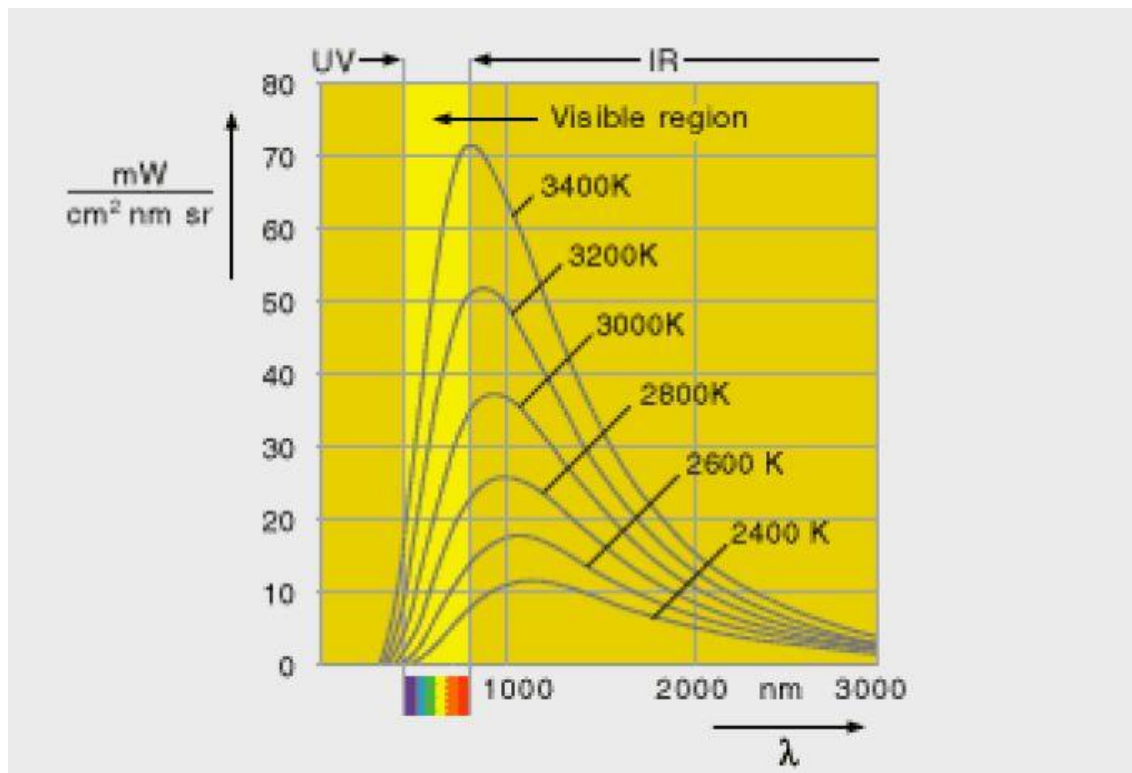
Lampputyyppi	Väriämpötila K	Värintoistoindeksi Ra	Valotehokkuus lm/W	Polttoikä h	Himmennys
Hehkulamppu	2700	100	10-12	1000	x
Halogeeni 230 V	2800-3000	100	15	2000	x
Elohopealamppu	3000-4000	20-45	40-50	16000	x
Suurpainenatriumlamppu	2000	30	100-140	16000-24000	
Pienpainenatriumlamppu	x	x	120-160	10000	
Monimetalli-kvartsi + kuristin	3000-6000	70-90	90	7500	
Monimetalli-kvartsi + elektroninen	3000-6000	70-90	100	10000-12000	x
Monimetallikeraaminen + kuristin	3000-6000	90	90	9000	
Monimetallikeraaminen + elektroninen	3000-6000	90	100	12000	x
Ledimoduuli	2000-6500	80-95	130-150	30000-100000	x

Taulukkoon 1 on listattu valonlähteiden keskimääräisiä ominaisuuksia julkaisusta ST-kortti ST 58.08 Valonlähteet liite 2.

2.2.2.1 Halogeenilamput

Suuritehoisia halogeenilamppuja käytetään usein ulkoalueiden valonheittimissä, kuten aluevalaistuksessa. Halogeenilamput ovat hehkulamppujen muunnoksia. Hehkulamppujen tapaan halogeenilampuissa on hehkulanka, mutta poiketen hehkulampusta, halogeenikierron ansiosta halogeenilampun kupu ei tummu, mikä mahdollistaa halogeenilampun pienemmän koon. Lisäksi voidaan kuumentaa hehkulanka korkeampaan lämpötilaan, jolloin lampun säteilemä valo on hehkulampun valoa kylmempää noin 3 000 K. Lampun valotehokkuus on 15–18 lm/W ja elinikä noin 3 000 tuntia. Halogeenilamppu on hehkusäteilijä, mikä tarkoittaa sitä, ettei se vaadi mitään liitäntälaitetta. Halogeenilamput soveltuvat himmentämiseen. [4, s. 7]

Hehkulamppujen ja halogeenilamppujen valotehokkuus on huono, koska vain pieni osa säteilystä sattuu näkyvän valon alueelle. Valtaosa on lämpösäteilyä. Kuvassa 8 on esitetty hehkusäteilijän energiaspektri eri lämpötiloissa. Kuva on Tapio Kallasjoen luentokalvoilta Valaistus ja energia [5].



Kuva 8. Hehkusäteilijän energiaspektri eri lämpötiloissa. [5]

EuP-direktiivi poisti syksystä 2009 alkaen myös himmeät, kierrekantaiset, ympärisäteilevät halogeenilamput markkinoilta. Kirkkaille, ympärisäteileville lamput on annettu jatkoaikaa vuoteen 2018 saakka. Syksyllä 2016 markkinoilta poistuivat verkkojännitteiset halogeenikohdelamput. Valonheittimissä käytetyt R7s-kantaiset halogeenilamput ovat edelleen markkinoilla, vaikka niille on tehty korvaavia ledilamppuja. [4, s. 7]

2.2.2.2 Monimetallilamput

Monimetallilamput soveltuvat pienen kokonsa vuoksi ulkovalaistuksessa valonheittimen valonlähteeksi. Suuritehoisia monimetallilamppuja käytetään usein esimerkiksi urheilukenttien ja -areenoiden valaistukseen. Lamppuja käytetään usein kohteissa, jotka vaativat hyvää värintoistoa. Monimetallilamput sisältävät elohopeaa sekä muita metallien halogeeniyhdisteitä suurpaineisessa purkausputkessa. Lamppujen spektrijakauman muoto ja niin edelleen valonväri riippuu valituista metalliyhdisteistä. Monimetallilamppujen värintoisto ylittää jopa arvoon R_a 90. Markkinoilla on 20–3 000 W lamppuja, joiden valote-

hokkuus on 80–120 lm/W. Lamppujen elinikä on 6 000–16 000 tuntia, riippuen lampputyypistä ja tehosta. Suuritehoisten lamppujen elinikä on yleisesti ottaen lyhyempi. Monimetallilamppu vaatii syttyäkseen jännitepulssin, jota varten valaisimessa on oltava elektroninen sytytyslaite. [4, s. 9]

Keraamisilla purkausputkilla varustetut lamput korvaavat vanhat kvartsilasillisella purkausputkella varustetut lamput. Keraamisten purkausputkien etuna on tasaisempi väriominaisuus eri asennuksissa sekä uutena että polttoian aikana. Toisin kuin vanhoissa kvartsilasisissa lampuissa on värieroja ja ne suurenevät polttoian myötä. [4, s. 9]

2.2.2.3 Suurpainenatriumlamput

Suurpainenatriumlamppuja on yleisesti tie- ja katuvalaistuksessa, korkeiden teollisuustilojen valaistuksessa, ratapihoilla, satamissa sekä teollisuus- ja varastoalueilla. Lisäksi pienitehoisempia lamppuja käytetään puistovalaistuksessa. Suurpainenatriumlampuilla on toteutettu suurimmaksi osaksi Suomen tievalaistus. Sen valontuotto muodostuu natriumhöyryssä tapahtuvasta purkauksesta. Purkauksesta saatava valoteho on 100–140 lm/W. Lamppuja valmistetaan 35–1 000 W:n tehoalueelle. Mitä suurempi teho lampussa on, sitä parempi sen valotehokkuus. Lampun polttoikä vaihtelee tehosta riippuen 9 000–24 000 tuntiin. Suurpainenatriumlampun värintoisto on huono ja sen tuottama valo on oranssinsävyistä 2 000 K. Markkinoilla on värinkorjaus lamppuja, joiden R_a on peräti 83 ja värilämpötila 2 500 K. On kuitenkin havaittu, ettei värinkorjaus kestä koko lampun elinikää. [4, s. 10]

2.2.2.4 Pienpainenatriumlamput

Pienpainenatriumlamput soveltuvat hyvän valotehokkuudensa puolesta tievalaistukseen. Lamppujen valotehokkuus on 100–180 lm/W. Pienpainenatriumlampun tuottama valo on väriltään keltaoranssia ja sen resonanssisäteily on lähellä silmäherkkyyskäyrän piikkiä. Lampun spektri on kuitenkin kapea, eikä lampulla ole lainkaan värintoistoa. Lamput ovat poistumassa käytöstä Suomessa, sillä niillä on korkeat kunnossapitokustannukset. [4, s. 10]

2.2.2.5 Induktiolamput

Induktiolamppua käytetään ulkovalaistuksessa puistojen ja kevyenliikenteenväylien pylväsvalaisimissa. Lampussa oleva suurtaajuinen induktiokelan ansiosta lampussa oleva elohopeakaasu purkautuu, josta syntyvä UV-säteily muuttuu näkyväksi valoksi lampun kuvussa olevilla loisteaineilla. Toisin kuin monet muut valonlähteet, induktiolamput eivät sisällä kuluvia elektrodeja, joten lampun eliniäksi saadaan noin 60 000 tuntia. Suomessa käytettävien lamppujen teho on 55–165 W ja valotehokkuus 80 lm/W. [4, s. 10]

2.2.2.6 Elohopealamput

Elohopealamppuja on käytetty tyypillisesti tievalaistuksessa kevyen liikenteen väylillä sekä alemman liikenneluokan teillä. Lisäksi lamppua on käytetty puistojen ja pihojen valaistukseen. Elohopealamppu tuottaa valoa suurpaineisessa elohopeahöyryssä tapahtuvassa purkauksessa, joka muutetaan näkyvän valon alueelle ellipsoidikuvussa olevalla loisteaineella. Lamppujen tyypillinen valotehokkuus on noin 20–45 lm/W ja vakiolampulla värilämpötila on 3 800–4 000 K. Lampun elinikä on pitkä, mutta valovirran aleneman vuoksi elohopealamppulle ilmoitetaan hyötypolttoikä, joka on noin 16 000 tuntia. Elohopealamppu ei tarvitse erillistä sytytintä, sillä lamppujen sisällä on apuelektrodi. Tästä huolimatta lamput täytyy varustaa virtaa rajoittavalla kuristimella. [4, s. 10]

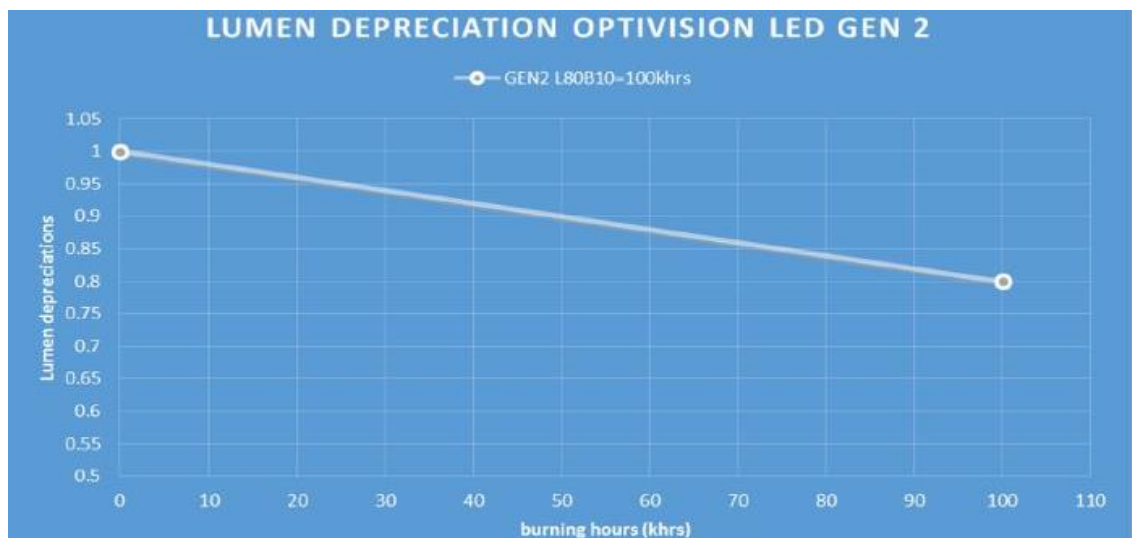
Elohopealamppun valotehokkuus ei yllä EuP-direktiivin toimeenpanosäädöksen asettamiin rajoihin. Elohopealamppun markkinoille tuominen kiellettiin säädöksillä 13.4.2015 alkaen. Vuodenvaihteessa 2014–2015 markkinoille tuli uusi monimetallilamppu, joka on tarkoitettu korvaamaan poistuvia elohopealamppuja. [4, s. 10]

2.2.3 Valonlähteiden elinikä ja hyötypolttoikä

Valaistusvoimakkuutta pienentää valonlähteiden loppuun palaminen. Kun 15–20 % valonlähteistä on palanut loppuun, kiihtyy merkittävästi valonlähteiden loppuun palaminen ja valaistusvoimakkuuden pienentyminen. Jos loppuun palaneiden valonlähteiden tilalle ei vaihdeta välittömästi korvaavia valonlähteitä, valaistusvoimakkuus vähenee samassa suhteessa kuin palaneiden tai vioittuneiden valonlähteiden lukumäärä kasvaa. Ellei viallisia asennuksia vaihdeta ajoissa, saattavat myös liitäntälaitteet vioittua. [6, s. 272]

Pitkäaikaisten valonlähteiden, varsinkin elohopealamppujen, valovirta saattaa ajan myötä laskea niin merkittävästi, että lamput ovat tarpeen vaihtaa ennen loppuun palamista. Tätä ilmiötä kutsutaan valonlähteen hyötypolttoiksi, jolloin lamput vaihtoaika kannattaa määrittää hyötypolttoian mukaan eikä loppuun palamisen mukaan. Kun määritetään valonlähteelle hyötypolttoikä, huomioidaan valovirranaleneman ja kuolleisuuden yhteisvaikutus. Hyötypolttoikä saavutetaan hetkellä, jolloin valaistusvoimakkuus on laskenut 30 %. Se voi esimerkiksi olla silloin, kun valovirranalenema on 20 % ja kuolleisuus 10 %. [6, s. 272]

Ledeillä ei ole suoranaisesti ole loppuun palamisen ongelmaa elohopealamppujen tavalla, sillä valaisinvalmistajien arvioidut eliniät ledeille vaihtelevat 20 000–100 000 tuntiin. Mikäli ledi on vioittunut, ongelmat ilmenevät ensimmäisten polttovuosien aikana. Sen vuoksi yleensä valaisinvalmistajat tarjoavat viiden vuoden takuuajan valaisimilleen. Lisäksi ledien yhteyteen asennettavat liitäntälaitteet vioittuvat huomattavasti nopeammin kuin ledit. Polttoikää ilmoitettaessa on mainittava, kuinka polttoikä on määritetty. L_xB_y -luvulla määritellään ledivalaisimen elinikä. L_x kuvaa valaisimen tuottamaa suhteellista valovirtaa alkuperäisestä valovirrasta määritellyn ajan kuluessa. B_y kertoo, kuinka suuri osa saman tyyppin lediryhmästä on alle mainitun L -arvon määritellyn ajan kuluessa.



Kuva 9. Philips Optivision gen 2-lediheittimen valovirranalenema.

Kuvassa 9 on esitetty Philips Optivision LED gen 2 valovirranaleneman kehittyminen 100 000 tunnin ajanjaksolla. Kyseiselle valaisimelle on ilmoitettu $L_{80}B_{10}$, jossa

- L_{80} tarkoittaa, että valaisin tuottaa yhä 80 % alkuperäisestä valovirrasta 100 000 tunnin kuluttua.
- B_{10} tarkoittaa, että 10 % valaisimista on alle mainitun L -arvon 100 000 tunnin kuluttua.

Vakiovalovirran (CLO) ohjauksella voidaan nostaa valaisimien laskennassa käytettävää alenemakerrointa. Vakiovalovirranohjausta käsitellään luvussa 2.4.4.

Vikaantumiskerroin C ilmaisee valaisimen arvioidun eliniän aikana ilmaantuvien täydellisten vikaantumisten prosenttiosuuden saman valaisimen ledimoduulien joukossa. Täydellinen vikaantuminen tarkoittaa sitä, ettei ledimoduuli tuota lainkaan valoa. Valaisin valmistajat eivät tyypillisesti ilmoita tuote-esitteissään C-arvoa. [8]

2.2.4 Kestävyys ja vanheneminen

Lika, ympäristön lämpötila, UV-säteily, korrosio ynnä muut tekijät vaikuttavat aikaa myöten siten, etteivät valaisimien heijastuspinnat, ritilät ja sulkukuvut puhdistumisen jälkeen ole uuden veroisia. Väärät puhdistusaineet tai vääränlaiset puhdistusmenetelmät muuttavat tiettyjen raaka-aineiden ominaisuuksia. Näistä tekijöistä johtuvan valaistusvoimakkuuden muuttuminen tai heikkeneminen on vaikeasti arvioitavissa. [6, s. 275]

Lian kertyminen ja tarttuminen valaisimen heijastinpinnoille, sulkukuvun pinnalle tai muille valoa ohjaaville ja läpäiseville pinnoille estää valon läpäisyä. Lika voi myös muuttaa valonjakokäyrän muotoa, jolloin kapea valokeila voi muuttua leveämmäksi. Likaantumisen otetaan huomioon ylläpitosuunnitelman laadinnassa. Se vaikuttaa muun muassa huoltoväliin ja -toimenpiteisiin. [6, s. 272]

Valaisimien materiaalit ja rakenteet tulisi valita sen mukaan, että ympäristöolosuhteiden vaikutus jäisi mahdollisimman vähäiseksi. Ilkivallalle alttiilla alueilla on kiinnitettävä huomiota valaisimen mekaaniseen kestävyys. Ilkivallan kestävyys ilmoitetaan IK-luokituksella [taulukko 2]. Parhaiten valaisimia suojataan ilkivallalta sijoittamalla valaisimet ihmisten ulottumattomiin. [6, s. 275]

Taulukko 2. IK-luokitusta vastaavat iskuenergiat.

IK-koodi	Iskuenergia / joulea (J)
IK00	-
IK01	0,15
IK02	0,2
IK03	0,3
IK04	0,5
IK05	0,7
IK06	1
IK07	2
IK08	5
IK09	10
IK10	20

Eurooppalainen standardi *EN 50102* määrittää suojaustasot ja koestusmenetelmät valaisimien kestävydestä mekaanisia iskuja vastaan. Laitteen tulee kestää luokituksena mukainen isku menettämättä sähköistä tai mekaanista turvallisuuttaan. Luokan IK09 valaisimia voidaan pitää ilkivallalta suojattuina. Tämän luokituksen valaisimia käytetään hyvin yleisesti ulkovalaistuksessa. [7, s. 28]

IP-kotelointiluokka puolestaan ilmaisee valaisimen tiiveyttä [taulukko 3]. Luokituksen tunnus ilmaisee, minkä kokoiset vieraat esineet pääsevät kosketuksiin jännitteisten osien kanssa. Lisäksi kaksinumeroisen tunnuksen jälkimmäisellä numerolla ilmoitetaan rakenteen suojausta kosteutta vastaan. [7, s. 28]

Taulukko 3. IP-koteloiluokat.

Suojaus kosketusta vastaan		Suojaus kosteutta vastaan	
0	Ei suojausta	0	Ei suojausta
1	Suojaus esineeltä, joiden halkaisija yli 50 mm (käsi)	1	Tippuvesi suojattu. Pystysuora tippuvavesi ei aiheuta haittaa.
2	Suojaus esineeltä, joiden halkaisija yli 12 mm (sormi)	2	Tippuvesi suojattu. Alle 15 asteen kulmaan tippuva vesi ei aiheuta haittaa.
3	Suojaus esineeltä, joiden halkaisija yli 2,5 mm (työkalu)	3	Tippuvesi suojattu. Alle 60 asteen kulmaan tippuva vesi ei aiheuta haittaa.
4	Suojaus esineeltä, joiden halkaisija yli 1 mm (johdin)	4	Mistä tahansa suunnasta tuleva roiskevesi ei aiheuta haittaa.
5	Pölyn haitallinen tunkeutuminen laitteeseen on estetty. Pöly laitteeseen kertyessä ei haittaa laitteen toimintaa.	5	Mistä tahansa suunnasta tuleva suihkuvesi ei aiheuta haittaa. Koetuksessa suuttimen halkaisija 6,3 mm ja veden paine 30 kPa
6	Jännitteelliset osat ovat täysin suojattu. Pöly ei pääse tunkeutumaan laitteeseen	6	Mistä tahansa suunnasta tuleva suihkuvesi ei aiheuta haittaa. Koetuksessa suuttimen halkaisija 12 mm ja veden paine 100 kPa
		7	Vesitiivis niin, ettei väliaikainen upotus veteen aiheuta toiminnalle haittaa
		8	Paine- ja vesitiivis niin, ettei jatkuva paineolosuhde aiheuta toiminnalle haittaa.

Valaisimet ja muut sähkölaitteet on luokiteltu käytön ja ylläpidon aikaisen sähköiskulta suojauksen mukaan kolmeen eri luokkaan [taulukko 4]. Käyttäjää suojataan sähkölaitteen mahdolliselta rikkoutumiselta. [7, s. 28]

Taulukko 4. Sähkösuojausluokat.

Suojaluokka	Tunnus	Selvitys
Luokka I	Suojamaadoitus	Valaisimessa on peruseristys ja kosketeltavissa olevat metalliset, sähköä johtavat, osat on yhdistetty maadoitukseen. Valaisimen maadoituspiste on merkitty esitettyllä tunnuksella. Valaisimien johdossa on erillinen maadoitusjohdin.
Luokka II	Kaksoiseristys	Valaisimissa ja laitteissa on peruseristuksen lisäksi suoja eristys. Lisäeristys estää peruseristuksen pettäessä sähkövirran pääsyn laitteen kosketeltaviin johtaviin osiin.
Luokka III	Suojajännite	Laitetta käytetään sellaisella jännitteellä, joka ei ole käyttäjälle vaarallinen. Suojajännite saadaan aikaan erillisellä suojamuuntajalla. Tällaisia jänniteitä ovat 12 tai 24 V. Luokan III valaisinta ei pidä suojamaadoittaa.

2.2.5 Huoltokerroin

Alenemakerroin ilmoitetaan, jotta valaistusasennuksen luminanssi- ja luksivaatimukset eivät alittuisi ennen huoltoa. Urheilukenttien valaistuslaskennoissa arvioidaan usein tapauskohtaisesti käytetty alenemakerroin. Dialux–valaistuslaskentaohjelmassa alenemakerroin on nimeltään huoltokerroin. Tämä kerroin muodostuu kaavalla (2)

$$MF = F_{LLM} \times F_{LS} \times F_{LM}, \quad (2)$$

jossa

MF	Maintanance Factor eli huoltokerroin.
F_{LLM}	Lamp Lumen Maintenance Factor. Valonlähteen valovirran pysyvyyserroin eli valovirranalenema.
F_{LS}	Lamp Survival Factor. Valonlähteen eloonjäämiskerroin. Arvo voidaan jättää huoltokertoimen määrittämisessä huomiotta (arvo tällöin 1,0), jos rikkoontuneet valaisimet vaihdetaan välittömästi.
F_{LM}	Luminaire Maintenance Factor. Valaisimen valovirranalenema. Arvo on riippuvainen valaisintyypistä, käyttöympäristön puhtaudesta ja valaisimen puhdistusvälistä. [8]

Valonlähteen valovirta pienenee käyttöään myötä. Aleneman nopeus ja suuruus riippuvat valonlähteen tyypistä. Esimerkiksi halogeenilampun valovirta pysyy lähes muuttumattomana koko polttoajan ajan, kun taas loiste- ja muiden purkauslamppujen valovirranalenema vaihtelee lamppulajin ja tehon mukaan polttoajan aikana yleensä 10–40 %:in uusravasta. Valon väriominaisuudet saattavat muuttua valonlähteen käyttöään myötä. Muutos on riippuvainen valonlähteestä. [6, s. 271]

Valaistuslaskelmissa käytettäviä alenemakertoimia valonlähdetyypeittäin, kun koteloitiluokka on vähintään IP65 [taulukko 5].

Taulukko 5. Alenemakertoimet valonlähdetyypeittäin koteloitiluokan ollessa vähintään IP65. [9, s.4]

Valonlähde	Perusarvo
Suurpainenatrium 100 – 400 W	0,8
Suurpainenatrium 50 – 70 W, 600 W	0,75
Monimetalli, keraaminen	0,65
Monimetalli, keraaminen 45 W, 60 W	0,7
Monimetalli, keraaminen 90 W, 140 W	0,75
Induktio	0,65
Ledi, arvoille $L_{80}B_{10}$ lämpötilassa $t_a = 25\text{ °C}$	0,7
Ledi, arvoille $L_{90}B_{10}$ lämpötilassa $t_a = 25\text{ °C}$	0,79
Ledi, vakiovalovirtaohjaus	0,88
Loisteputki T8/T5, pakkasputki	0,7

Taulukon 5 perusarvot ledeille $L_{80}B_{10}$ ja $L_{90}B_{10}$ on oltava määriteltynä elinikä. Esimerkiksi 100 000 tuntia.

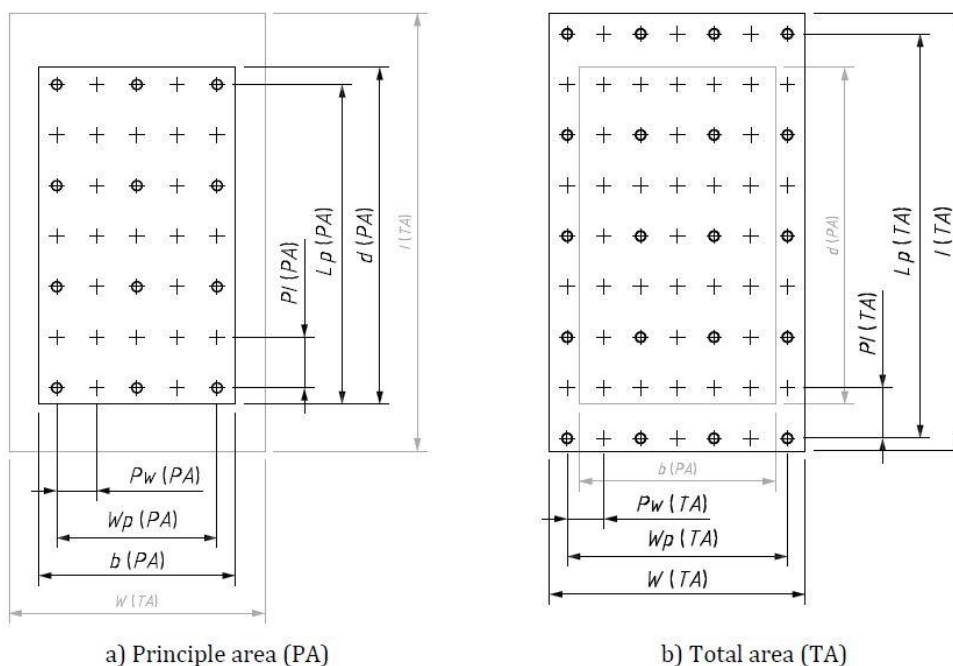
2.3 Valaistusvaatimukset

Suomen liikunta- ja urheilujärjestöillä sekä niiden kansainvälisillä järjestöillä on omat valaistusvaatimuksensa urheilulajeille ja niiden kilpailutasoille. Lisäksi standardissa *SFS EN 12193* esitetään liikunta- ja urheilualueiden valaistuksen määrälliset ja laadulliset vaatimukset. Sisä- ja ulkourheilulajeille on omat vaatimuksensa. Standardissa on esitetty lisäksi raja-arvoja valaistuslaskentaan. Valaistussuunnittelun kannalta on tärkeää huomioida, kenelle ja mihin käyttötarkoitukseen liikunta- ja urheilualueet on suunnattu. Ne vaikuttavat oleellisesti valaistuksen osalta standardien ja liikunta- ja urheilujärjestöjen vaatimiin valaistuksen vähimmäistasoon. Standardissa *SFS EN 12193:2018* ohjeistetaan valaistusluokan valinnassa seuraavasti:

- I-taso on ylimmän tason kansainvälisen ja kansallisen urheilun valaistusvaatimukset, joissa on suuri katsojamäärä. Mukaan voidaan lukea myös ylimmän kilpailutason harjoittelualueet.
- II-taso on keskitasoisien urheilun esimerkiksi alueellisen tai paikallisen tason urheilun valaistusvaatimukset, joissa on suhteellisen isot katsojamäärät. Mukaan voidaan lukea myös ylimmän kilpailutason harjoittelualueet.

- III-taso on paikallisen tason urheilun valaistusvaatimus, jossa ei ole katsojia. Samaan luokkaan voidaan lukea koululaisten urheilutunnit ja harraste-toiminta. [10, s. 21]

Valaistuslaskentaa varten standardissa ilmoitetaan valaistusvaatimukset alueille PA eli Principal Area ja TA eli Total Area [kuva 10].



Kuva 10. PA- ja TA -alueet. [10, s. 14]

PA tarkoittaa aluetta, jolla urheilulajia harjoitetaan. TA tarkoittaa aluetta, johon PA-alue kuuluu ja lisäksi turva-alueita sen ulkopuolella. PA ja TA ilmoitetaan neliömetreissä. Valaistuslaskennan tulokseen vaikuttaa laskentapisteiden määrä näillä alueilla. Standardissa ilmoitetaan laskentapisteiden määrä pituus- ja leveysuunnassa. Esimerkiksi 100...110 metrin pituiselle ja 64...75 metriä leveälle ulkojalkapallokentälle laskentapisteteet ovat standardin mukaan pituus- ja leveysuunnassa 19...21 ja leveysuunnassa 13...15. Laskentapisteitä hyödynnetään lopullisen asennuksen valaistusmittauksissa, joissa todennetaan valaistusasennuksen suunnitelmien- ja vaatimustenmukaisuus.

2.3.1 Jalkapallokentän valaistusvaatimukset

Ulkona harrastettavan jalkapallon ja amerikkalaisen jalkapallon lajikohtaiset vähimmäisarvot standardin *SFS EN 12193* mukaan [taulukko 6].

Taulukko 6. Jalkapallon ja amerikkalaisen jalkapallon lajikohtainen valaistusvaatimus. [10, s. 42]

Luokka	$E_{hor,AVE}$ (lx)	$U2_{hor}$	R_G	R_a
I	500	0,7	55	70
II	200	0,6	55	60
III	75	0,5	55	60

Jalkapallokenttien valaistuskennossa arvioidaan yleensä tapauskohtainen alenemakerroin, joka on sidoksissa käytettyihin valaisimiin ja asennuksen huoltoväliin. Alenemakerroin arvioidaan siten, ettei vaadittu valaistustaso putoa alle vähimmäisvaatimusten ennen huoltoa [1, s. 1]. Alenemakerrointa käsiteltiin luvussa 2.2.5.

Ympäristö, jossa jalkapallokenttä sijaitsee, luokitellaan alueluokkaan. Luokkia on neljä:

- E1 on luontainen ympäristö, jossa on pimeää esimerkiksi kansallispuistot.
- E2 on maalaismainen ympäristö, jossa on vähäistä alueellista valaistusta esimerkiksi teollisuus- tai asuinalueet maaseudulla.
- E3 on esikaupunkialuetta, jossa on keskitasoista alueellista valaistusta esimerkiksi teollisuus tai asuinalueet esikaupunkialueella.
- E4 on kaupunki, jossa on voimakasta alueellista valaistusta esimerkiksi keskustat tai kauppa-alueet. [10, s. 20]

Alueluokitus määrittää ympäristöön kohdistuvan valaistuksen enimmäisarvoja. Suunnittelussa täytyy kiinnittää huomiota tähän eritoten kohteissa, joissa jalkapallokentän lähellä sijaitsee asutusta. Taulukossa 7 on listattu *SFS EN 12193*:n mukaisia enimmäisarvoja. [10]

Taulukko 7. Alueluokituksen enimmäisarvoja. [10, s. 20]

Alue	Kiinteistöihin kohdistuva		Valovoima		Ylöspäin suuntautuva valo	Julkisivujen luminanssi
	$E_{\text{vert AVE}}$ (lx)		I (cd)		R_{ULMax} (%)	L_b (cd m ⁻²)
	Ilta	Yö	Ilta	Yö		
E1	2	0	2 500	0	0	0
E2	5	1	7 500	500	5	5
E3	10	2	10 000	1 000	15	10
E4	25	5	25 000	2 500	25	25

Ulkourheilukenttien istumakatsomossa keskimääräisen valaistusvoimakkuuden tulee olla vähintään 10 lx ja rappusissa vähintään 20 lx. [10, s.17]

2.3.2 Skeittipaikan valaistusvaatimukset

Ulkoskeittipaikkojen valaistuksen suunnittelussa tulee huomioida alueella sijaitsevat rampit, hyppyrit ja kaiteet [taulukko 8].

Taulukko 8. Skeittialueiden valaistusvaatimus. [10, s. 46]

Luokka	Skeittialue		Rampit, kaiteet, hyppyrit		Vertikaalinen valaistusvoimakkuus rampeille, kaiteille ja hyppyreille		R_G	R_a
	$E_{\text{hor AVE}}$ (lx)	$U_{2\text{hor}}$	$E_{\text{hor AVE}}$ (lx)	$U_{2\text{hor}}$	$E_{\text{vert AVE}}$ (lx)	$U_{2\text{vert}}$	R_G	R_a
I	100	0,4	200	0,6	150	0,5	50	70
II	50	0,4	100	0,4	-	-	50	60
III	30	0,3	50	0,3	-	-	55	60

Ulkoskeittipaikkojen valaistussuunnittelussa on hyvä huomioida valaisimien ja pylväiden sijoittelu. Suunnittelu on hyvä tehdä yhteistyössä käyttäjien ja asiantuntijoiden kanssa. Valaistuksen tulee olla riittävän tasaista ja välttää teräviä varjoja.

2.3.3 Kuntopolun valaistusvaatimukset

Kuntopoluille voidaan soveltaa Väyläviraston (entinen Liikennevirasto) julkaisusta *Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu* P-luokan vähimmäisarvoja. P-luokat on tarkoitettu kevyen liikenteen väylille ajoradan vieressä, puistoalueille, asuin-, piha- ja pysäköintialueille. Laskennassa saadut arvot eivät saa ylittää vähimmäisarvoja 1,5-kertaisina häikäisyn vuoksi [taulukko 9].

Taulukko 9. Väyläviraston (entinen Liikennevirasto) julkaisusta *Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu*. P-luokat. Suluissa on esitetty vuoden 2006 valaistusohjeen vastaavat K-luokat.

Valaistusluokka	Vaakatason vähimmäisvalaistusvoimakkuudet	
	$E_{hor AVE}$ (lx)	$E_{hor Min}$ (lx)
P1 (K1)	15,00	3,00
P2 (K2)	10,00	2,00
P3 (K3)	7,50	1,50
P4 (K4)	5,00	1,00
P5 (K5)	3,00	0,60
P6 (K6)	2,00	0,40

P-luokka, minkä vähimmäisarvoja sovelletaan kohteeseen, valitaan tiettyjen parametrien mukaan [kuva 11].

VÄYLÄ TAI ALUE	VALAISTUS-LUOKKA	VÄYLÄ TAI ALUE	VALAISTUS-LUOKKA
KÄVELYKADUT <i>Keskustassa</i> Vain kevytliikenne Huoltoajo sallittu	P2 P1	ERILLISET JALANKULKU- JA PYÖRÄTIET Vilkkoot Vähäliikenteiset, ei sekaliikennettä	P4 P6
<i>Muilla alueilla</i> Vain kevytliikenne Huoltoajo sallittu	P3 P2	ALIKULKUKÄYTÄVÄT (ks. 3.11.2)	C4
Maaseututaajamat Vain kevytliikenne Huoltoajo sallittu	P3, P4 P2	ULKOILUTIET Puistokäytävät Hiihtoladut, pururadat	P3 P4
HIDAS- JA PIHAKADUT Vilkkoot Vähätoimintaiset	P2 P4, P5	PYSÄKÖINTIALUEET Vilkkoot Vähäliikenteiset	P2 P4
JALANKULKUALUEET KESKUSTASSA, TORIT JA AUKIOT	P1, P2		

Kuva 11. Väyläviraston (entinen Liikennevirasto) julkaisusta *Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu*. Jalankulku- ja pyöräillä sekä muilla kevyen liikenteen alueilla käytettävät valaistusluokat.

Standardissa *SFS EN 12193:2018* ohjeistetaan lenkkeilylle ja hiihdolle taulukon 10 mukaiset vähimmäisarvot.

Taulukko 10. Juoksun ja hiihdon lajikohtaiset valaistusvaatimukset. [10, s. 41]

Luokka	$E_{hor,AVE} (lx)$	$U_{2,hor}$	R_G	R_a
I	20	0,3	50	70
II	10	0,3	50	60
III	3	0,1	55	60

Rakennustietokortiston RT-kortti *RT 97-10869 Kuntoreitit* ohjeistaa kuntoreittien valaistusvoimakkuuksia. Kuntoreitin suositeltu keskimääräinen valaistusvoimakkuus on 5...7,5 luksia. Vähimmäisarvot tasaisella ja suoralla reittiosuudella on 1...1,5 luksia, kumpuilevassa ja mutkikkaalla maasto-osuudella on 3...5 luksia, ja mäkien alarinteessä, vauhdikkaissa käännöspaikoissa ja muissa vastaavissa paikoissa on 7...10 luksia. [11, s. 14]

2.4 Valaistuksen ohjausratkaisut

Valaistuksen ohjaus- ja säätöjärjestelmät valitaan käyttäjän tarpeiden mukaan. Ohjaustapoja ovat muun muassa paikallisohjaus, tilanneohjaus ja vakiovalo-ohjaus. Ne määrittelevät käytettävät valaisimet, mutta myös valaisimet voivat määrittää ohjaustavan. [12 s. 24]

Tässä luvussa käsitellään valaistuksen ohjausjärjestelmiä asiakkaan toivomien valaistustilanteiden mukaan. Asiakas on toivonut langatonta painonappiin ja aikaohjaukseen perustuvaa C2 SmartPlay-ohjausratkaisua urheilukentälle. Lisäksi kuntopolulle toivottiin liiketunnistimilla ohjautuvaa valaistusta. Kokoalueen valaistusta ohjataan C2-järjestelmän välityksellä. C2-järjestelmä toimisi yhdessä Sipoon kunnan käytössä olevan TIMMI-tilanvarausohjelman kanssa. C2-käyttöliittymään tallennetaan tilaajan toiveiden mukaiset valaistustilanteet.

2.4.1 1–10 V ohjaus

1–10 V ohjaus on analoginen tasajännitteeseen perustuva ohjaus, joka on yleisin standardin *EN 60929* mukainen ohjaustapa. Piiriin kytketyt valaisimet eivät sammu ohjauksella, vaan sitä varten on erillinen päävirtapiirin kytkin. Ohjauspiiriin voidaan kytkeä parhaimmillaan 50 erillistä valaisinta, mutta määrä riippuu pitkälti kytkimen katkaisukyvyistä. Analogisessa ohjauspiirissä kaikki samaan ohjauspiiriin kytketyt laitteet ovat samaa säätävää ryhmää. Tasajännitteen vuoksi ohjauspiirissä on plus- ja miinusnavat, joita ei saa kytkeä ristiin. Mikäli navat kytketään ristiin aiheuttaa se säädön toimimattomuuden. 1-10 V ohjauksen haittoina ovat napaisuuden lisäksi ohjausjohtimen pituus, joka voi vaikuttaa valaisimien säädettävyyteen. Ohjausväylän enimmäispituus on 300 metriä.

Ohjaustavan eduiksi lukeutuu se, että järjestelmä ei tarvitse erillistä tietokoneohjelmointia toimiakseen. Mikäli 1-10 V-järjestelmä asennetaan osaksi isompaa ohjelmakokonaisuutta, johon kuuluu esimerkiksi DALI-ohjaus, järjestelmä tarvitsee ohjelmoinnin toimiakseen. [12, s. 14]

2.4.2 DALI-ohjaus

Standardin *IEC 62386* digitaalinen ohjaus on nimeltään DALI. Tällä ohjauksella yhdellä ohjausjohdinparilla saadaan 64 osoitteellista ryhmää. Jokainen osoite on ohjattavissa omana yksikkönä tai se voidaan liittää ohjelmoitavaan ryhmään. Järjestelmän laajuus voi esimerkiksi olla 64 osoitetta, jotka ovat valaisimia, antureita ja ohjaimia. Niistä voidaan muodostaa 16 ryhmää. Jokaista ryhmää kohden on 16 ohjelmoitua tilannetta. DALI-ohjaus on hajautettu ohjaus, joten erillistä keskusyksikköä ei ole. Jotta DALI ohjaukset saadaan toimimaan käyttäjän haluamalla tavalla, se vaatii ohjelmoinnin ja käyttöönoton. Mikäli riittäväksi katsotaan, että kaikki ohjattavat valaisimet toimivat yhdessä ja samaan aikaan, ei erillistä ohjelmointia tarvita. Tällainen tilanne ohjataan ilman osoitetietoja DALI-broadcastilla, eli se toimii käytännössä katsoen 1–10 V ohjauksen tavalla. [12, s. 13]

Uutuutena DALI-standardiin on tullut valaisimien valon värin ja värilämpötilan säätömahdollisuus. Tämä toiminnallisuus vie vain yhden DALI-osoitteen, mutta edellytys sen hyödyntämiselle on valaisimen liitäntälaitteen yhteensopivuus. Tällaisia liitäntälaitteita ovat DALI type 8. Ohjausväylä voi olla enimmillään 300 metrin mittainen. [12, s. 14]

DALI-ohjauksen etuja ovat monipuolisuus, muunneltavuus ja osoitteellisuus. Lisäksi muita etuja ovat laaja valmistajamäärä liitäntälaitteissa sekä soveltuvuus kokonaisuohjausjärjestelmäksi laajoihin valaistuskokonaisuuksiin. [12, s. 14]

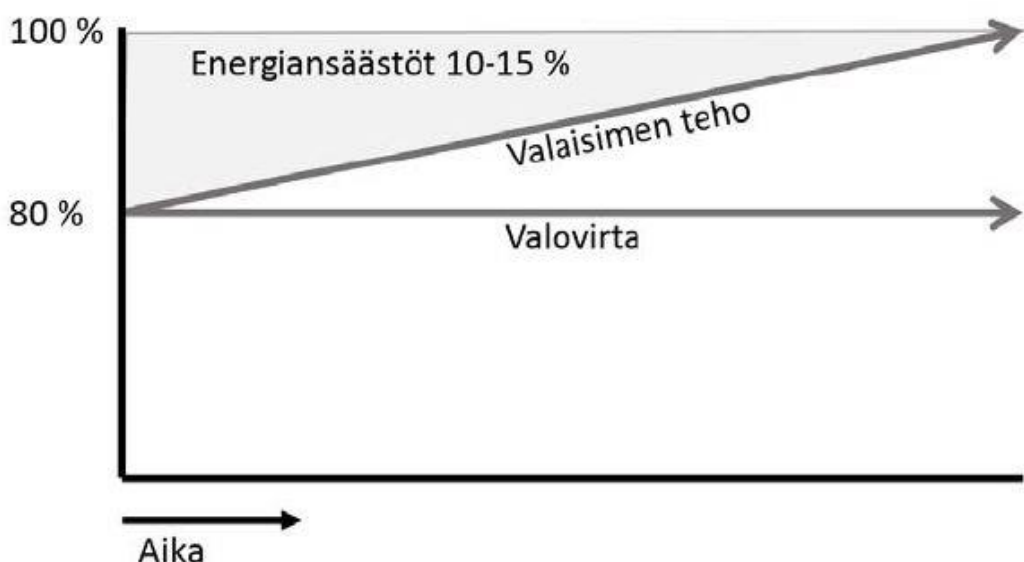
2.4.3 DMX-ohjaus

DMX-ohjaus eli Digital MultipleX on digitaalista keskusyksiköllistä ohjausta, jossa voidaan säätää valonheittäjiä ja värinvaihtajia sekä erillisiä säätimiä ja releitä. Ohjaustapaa on käytetty enimmäkseen esitystekniseen, kuten esimerkiksi teatteri- ja näyttämövalaistuksessa, sekä valotaideteosten toteutuksessa. Yleisvalaistukseen DMX-ohjaus on yleistynyt RGB-ohjattavien ledivalaisimien myötä. Valon varsinainen säätö tehdään valopöydältä käsin. Tällaiset valaistuksen ohjaukset ovat hyvin monipuolisia ja niissä voidaan tallentaa erilliseen muistiin esimerkiksi näytelmän valaistustilanteet ajastuksineen. Tällaisia ohjauksia eivät käytä muut kuin valonohjauksen ammattilaiset. DMX-ohjauksessa käytettävien osoitteiden määrä on 512. DMX:n uusin päivitys on nimeltään RDM, jossa väylä muuttui kaksisuuntaiseksi ja näin ollen valaisimilta on mahdollista saada

myös paluutieto. RDM-käytön edellytyksenä on, että sekä käytettävät valaisimet ja niiden ohjauslaitteet tukevat tätä ominaisuutta. [12, s. 15]

2.4.4 Vakiovalovirtaohjaus

Vakiovalovirtaohjaus CLO eli Constant Light Output. Vakiovirtaohjauksella saadaan tasan valovirranalenneman valaistustason ylimitoitus. Vakiovalovirtaohjauksessa valovirta pyritään pitämään tasaisena koko valaisimen elinkaaren ajan. Valaisimen tehoa voidaan lisätä valonlähteen vanhetessa. Ohjauksen hyödyllisyys ilmenee siten, että valaisimen nimellisteho tarvitaan vasta elinkaaren lopussa. Näin ollen päästään pienempään tehonkulutukseen valaisimen koko elinkaaren aikana verrattuna valaistukseen ilman vakiovalovirtaohjausta [kuva 12].



Kuva 12. Esimerkki vakiovalovirran toiminnasta. Väyläviraston (entinen Liikennevirasto) julkaisusta *Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu*.

Kyseinen ohjaustapa on tyypillinen ledivalaistuksessa. Valaistusteknisissä laskennoissa vakiovalovirtaohjaus huomioidaan käyttämällä valaisimen vakiovalovirta-arvoa ja likaantumisen aiheuttamaa alenemakerrointa. [3, s. 18–19]

2.4.5 Vakiovalo-ohjaus

Vakiovalo-ohjaus on luonnonvalon hyödyntämiseen perustuva valaistuksen ohjaus, jossa pyritään energiansäästöön. Säätojärjestelmään asetetaan halutut raja-arvot, joilla valaistus pidetään halutussa valotasossa valoantureiden avustuksella. Vakiovalo-ohjauksessa oikeainlaisella säädöllä silmämääräisesti ei pysty havaitsemaan tapahtuvaa säätöä, vaikka samanaikaisesti tiputetaan energian kulutusta. Yksinkertaisuudessaan säätö toimii siten, että luonnonvalon tasosta riippuen keinovalon määrä vähenee tai lisääntyy. Säädön herkkyyden on järjestelmäkohtaista. Käyttäjän kannalta miellyttävä lopputulos saadaan aikaiseksi, kun säätö on hidasta. Vakiovalo-ohjaus voidaan toteuttaa sekä led- että loistelampuin käyttäen digitaalisia DSI- ja DALI-ohjauksia tai analogista 1–10 V ohjausta. Ulkovalaistuksessa tyypillisesti helpoin tapa toteuttaa vakiovalo-ohjaus on integroida anturi valaisimeen ja valaisinta ohjaavan liitäntälaitteen läheisyyteen. Vakiovalo-ohjauksessa saavutetaan merkittävää energiansäästöä, vertailutasosta riippuen jopa 60 %. [12, s.12]

2.4.6 Radiotaajuuteen perustuva C2 SmartPlay-ohjausratkaisu

Radio-ohjaus on langattomista ohjauksista uusin ja langattomat ohjaukset tulevat yleistyään voimakkaasti lähitulevaisuudessa. C2 SmartPlay on ohjausratkaisu, joka toteuttaa radiotaajuuteen perustuvaa Zigbee-yhteysprotokollaa. Zigbee-tekniikalla optimoidaan laitteiden tehonkulutusta verkkoon perustuvalla langattomalla ohjauksella. Verkko koostuu kolmesta laitteesta, jotka ovat koordinaattori, reititin ja päätelaite. Yleisesti käytetty radiotaajuus on 433 MHz, joka on vapaasti kaupallisessa käytössä oleva taajuus. ZigBee on standardin *IEEE 802.15.4* mukainen lyhyen kantaman tietoliikennesovellus, jota hyödynnetään myös valaistuksen ohjaukseen. Sen Euroopassa käytetty taajuus on 868 MHz ja tiedonsiirtonopeus 20 kb/s. Tunnetuimpia valaistuksen ohjauksen sovelluksia, jotka hyödyntävät ZigBeetä, ovat esimerkiksi ohjattavat Philips Hue -ledilamput sekä Fagerhultin käyttämä eSense-ratkaisu. [12 s. 10]

ZigBee on ZigBee Alianssin omistama tavaramerkki, joka on avoin standardi alianssin jäsenten käyttöön. ZigBee-merkkiä voidaan käyttää vain laitteilla, jotka on erikseen testattu ja hyväksytty sopiviksi laitteiksi. [12 s. 11]



Kuva 13. C2 LuconC–tukiasema, SmartLumo M 230 VAC.

C2 LuconC on tukiasema, joka välittää ohjaus- ja monitoritietoa katuvalokeskuksen ja C2 SmartLumo-ohjaimen sekä keskusjärjestelmän välillä langattomasti radioteitse [kuva 13]. LuconC asennetaan tyypillisesti valaistusta syöttävään keskukseen. C2 SmartLumo M 230 VAC on muoviin valettu valaisinkohtainen ohjain, jota voidaan käyttää sekä itse-
näisesti, että C2 SmartLight –keskusohjauksen kautta [kuva 13].



Kuva 14. C2 SmartLight-painonappi, C2 SmartLight-liiketunnistin ja C2 SmartLumo M 230 VAC.

C2 SmartPlay pitää sisällään painonapin, joka ohjelmoidaan kytkemään valaistavan alueen valaistuksen päälle tietyksi ennalta määritetyksi ajaksi [kuva 14]. C2 SmartLight-painonappi on IK07 suojattu ja sisältää kotelon sisään integroidun C2 SmartLumo-ohjaimen, joka on langattomassa radioyhteydessä valaisimissa olevien ohjaimien kanssa [kuva 14]. Painonappia voidaan ohjata sekä paikallisesti että C2 SmartLight-keskusoh-

jauksen kautta. C2 SmartLight-painonappi kokonaisuus sisältää myös erillisen virtalähteen. Se on asennettavissa pylvääseen, seinään tai esimerkiksi kytkentälaatikon seinämään. Virtalähde voidaan kiinnittää pylvääseen tai erilliseen koteloon. C2 SmartPlay-järjestelmään voidaan liittää myös C2 SmartLight-liiketunnistin, joka on passiivinen IR-sensori (PIR). Liiketunnistin liitetään C2 SmartLumo 230 VAC -ohjaimeen. Liiketunnistin havaitsee infrapunasäteilyn avulla liikettä ja lämmönlähteen, jolloin se aktivoituu. Infrapunatekniikalla varustetulla liiketunnistimella pyritään välttymään nopean liikkeen ja lämmönlähteen puuttumisesta aiheutuvaa ei haluttua keinovalon syttymistä. Liiketunnistimen kantama on enintään 10 metriä $110^{\circ} \times 93^{\circ}$ ja havaintolohkoja on 80. Suositeltu asennuskorkeus on neljä metriä. Liiketunnistin on IP67 suojattu [kuva 14]. Valaisasenuksen valaistusohjauksia ja -tilanteita voidaan asettaa ja myöhemmin muokata Lumo Manager sovelluksella. [13]

2.5 Ulkovalaistusverkon mitoitus

Ulkovalaistusverkko mitoitetaan muiden sähköverkkojen tavoin suunnitteluvaiheessa ja mitoitus tulee dokumentoida suunnitelma-asiakirjoihin. Mitoitettaessa johdon poikkipinta-alaa keskeisimmät mitoitusperusteet ovat jännitteenalenema, terminen kuormitettavuus, ja syötön automaattista poiskytkentää koskevat ehdot. [14, s. 1]

2.5.1 Ylikuormitussuoja

Johdon ylikuormitussuojaus on esitetty standardeissa *SFS 6000-4-43* sekä *SFS 6000 5-52*, joissa on annettu asennustavan mukaan ohjeet kaapelin kuormitettavuudesta. [14, s. 1]

Ylikuormitussuojauksen mitoituksessa huomioidaan suojalaitteen nimellisvirran lisäksi erityyppisten suojalaitteiden erilaiset toimita-arvot. B-, C- ja D-tyyppisten johdonsuojakatkaisijoiden terminen toimintarajavirta on 1,45 kertaa suojalaitteen nimellisvirta. Tällöin ylikuormitussuoja voidaan valita suoraan kuormitettavuuden perusteella. Sulake on mitoitettava siten, ettei ryhmän kuormitusvirta ylitä sulakkeen nimellisvirtaa. Oikosulku- ja ylikuormitussuojan nimellisvirran I_n tulee täyttää ryhmäjohtojen osalta *D1-2017 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista* kaavalla (2)

$$k \times I_n \leq 1,45 \times I_z, \quad (2)$$

jossa

I_n on suojalaitteen nimellisvirta (A)

I_z on johtimen jatkuva kuormitettavuus (A) ja

k on sulakkeen ylemmän sulamisrajavirran ja sulakkeen nimellisvirran suhde.

Mikäli k on pienempi kuin 1,45 käytetään kaavaa;

$$I_n = < I_z, \quad (3)$$

2.5.2 Oikosulku- ja kosketusjännitesuoja

Oikosulku- ja kosketussuojaus tulee tehdä standardien *SFS 6000-4-41* ja *SFS 60 00-4-43* mukaisesti. Kosketusjännitesuojauksen täyttymistä on ehdottoman tärkeää tarkastella etenkin paikoissa, joissa ihmiset luonnostaan ovat hyvin lähellä johtavia rakenteita, kuten bussipysäkkikatokset ja mainostaulut. Ulkovalaistuslaitteiden tulee olla joko suojaeristettyjä tai suojamaadoitettuja, koska ne sijaitsevat ulkona, jossa käyttöolosuhteet ovat vaaralliset. [14, s. 2]

Johdonsuojakatkaisijoita käytettäessä on tarkistettava niiden selektiiviset toimintaedellytykset. Lisäksi on huomioitava rajoittuneesta katkaisukyvyistä johtuvat etusulakevaatimukset valmistajan ohjeiden mukaan. Selektiivisyydestä voidaan varmentua sähköverkon mitoitusohjelmistoilla, kuten esimerkiksi FEBDOK–pienjänniteverkon mitoitusohjelmalla tai ABB:n julkaisemalla ABB DOC–ohjelmistolla. Ulkovalaistusverkoissa enintään 32 A:n suojalaitteella suojatuille ryhmäjohtoille yksivaiheisen oikosulkuvirran laukaisu-aika ei saa ylittää 0,4 sekuntia. Pääjohtoille ja yli 32 A:n suojalaitteella suojatuille ryhmäjohdolle sallitaan enintään 5 sekunin laukaisu-aika. [14, s. 3]

Yksivaiheista oikosulkuvirtaa laskettaessa voidaan käyttää *D1-2017 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista* kaavaa (4)

$$I_k = \frac{c \times U}{\sqrt{3} \times Z}, \quad (4)$$

jossa

I_k	on pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta (A)
c	on kerroin 0,95, joka ottaa huomioon jännitteenaleneman liittimissä, johdoissa, sulakkeissa, kytkimissä jne.
U	on pääjännite (V) ja
Z	on virtapiirin kokonaisimpedanssi.

2.5.3 Ylijännitesuojaus

Keskuksien, sähköjakolaitteiden ja valaisimien impulssijännitteen suojausten tulee täyttää standardin *SFS 6000-4-44* mukaiset mitoitusarvot ja ylijänniteluokkavaatimukset. Suojausluokan I ledivalaisimen liitäntälaitetta ja ledimoduulia suojataan kolmitasoisesti väliltä L–PE, N–L ja N–PE. Ylijännitesuojauksen on oltava vähintään kuusi kilovolttia ja kolme kiloampeeria kaikilla kolmella välillä. Suojausluokan II ledivalaisimen liitäntälaitteet ja ledimoduulit suojataan väliltä N–L. Ylijännitesuojauksen tulee olla vähintään kuusi kilovolttia ja kolme kiloampeeria. [14, s. 3]

2.5.4 Kaapelin mitoitus syötön automaattisen poiskytkennän kannalta

Johdon valinta tulee tehdä siten, että suojalaite toimisi vaaditussa ajassa, joko 0,4 tai 5,0 sekunnissa pienimmän lasketun oikosulkuvirran arvon mukaan. Suurin sallittu johtopituus voidaan laskea *D1-2017 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista* kaavalla (5)

$$l = \frac{c \times U}{\frac{\sqrt{3} \times I_k - Z_k}{2 \times z}}, \quad (5)$$

jossa

l	on johtopituus (km)
c	on kerroin 0,95
U	on pääjännite (V)
I_k	on oikosulkuvirta, joka aiheuttaa automaattisen poiskytkennän vaaditussa ajassa (A)
Z_v	on verkon impedanssi ennen suojalaitetta (Ω) ja
z	on suojattavan johtimen impedanssi 80 °C (Ω/m)

Kaavalla voidaan määrittää B- ja C-tyypin johdonsuojakatkaisijoiden ja gG-sulakkeiden 0,4 ja 5 sekunin laukaisuajoille suurimmat sallitut johtopituudet, kun tunnetaan oikosulkuvirta ja verkon impedanssi ennen suojalaitetta.

2.5.5 Jännitteen alenema

Jännitteen alenema vaikuttaa toimitettavan sähkön laatuun. Standardisarjassa SFS 6000 ohjeistetaan, että jännite ei saa erota sähkön luovutuskohdassa tavallisten käyttöolosuhteiden aikana enempää kuin $-10...+6$ % eli 207...244 voltia nimellisjännitteestä. Kun käytetään purkauslamppuja, sallitaan ± 6 %:n jännitteen vaihtelu nimellisjännitteestä. [14, s. 3] *D1-2017 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista* ohjeistaa yksivaiheisen vaihtojännitteisen jännitteen aleneman laskentaa kaavalla (6)

$$\Delta U = I \times l \times 2 \times (r \cos \varphi \pm x \sin \varphi), \quad (6)$$

jossa

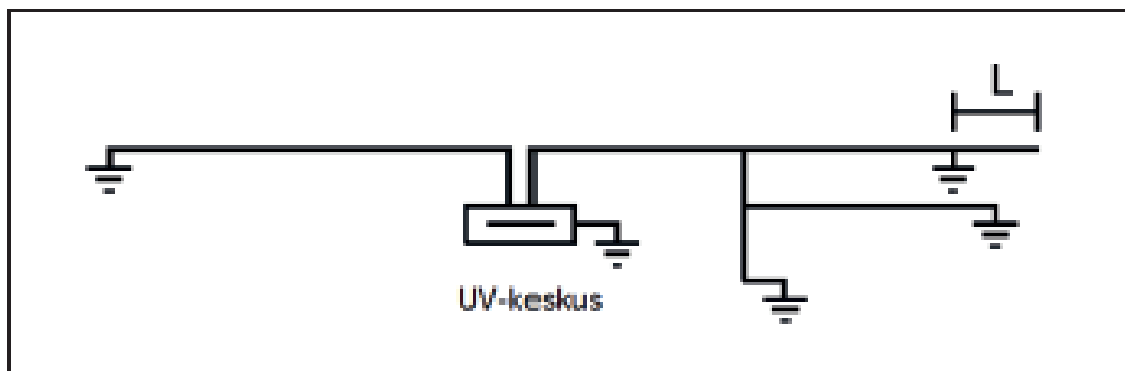
ΔU	on jännitteen alenema volteissa (V),
I	on kuormitusvirta (A),
l	on johdon pituus (m),
r	on johtimen ominaisresistanssi 70 °C (Ω/m),
x	on johtimen ominaisreaktanssi 70 °C (Ω/m) ja
φ	on jännitteen ja virran välinen vaihekulma.

Jännitteen alenema lasketaan jakelumuuntamosta ryhmän viimeiseen valaisimeen. Tavanomaisissa tapauksissa kokonaisjännitteenalennus on liittymisjohdossa, ryhmäjohdossa ja valaisinjohdossa syntyvien jännitehäviöiden summa. [14, s. 3]

2.5.6 Maadoitus

Valaisinpylväiden PEN-johdin käyttömaadoitetaan kaapelikaivantoon noudattaen standardin SFS 6000-5-54 mukaisia ohjeita. Maadoitusten maavastusten tulee täyttää standardin SFS 6000-4-41 mukaiset maadoitusresistanssiarvot saman sähkölaitoksen alueella. Maadoitukset kytketään aina kahden pylvään välille. Maadoituskupari asennetaan kaapelikaivannon pohjalle, ei suojaputkeen. Maadoitukset tulee mitata ja mittauspöytäkirja liitetään luovutuspiirustuksiin. Kun käyttömaadoitus tuodaan AMKA-linjasta metallipylvään sisällä maahan, tehdään AMKA:n ja pylvään kytkentäaukon välinen osuus korrosiovaaran vuoksi $16 \text{ m}^2/\text{Cu}$ -johtimella, minkä jälkeen johto viedään maahan kirkkaana $16 \text{ mm}^2/\text{Cu}$ -johtimella. [15 s. 189]

Standardisarjan *SFS 6000* mukaan nollajohdin on käyttömaadoitettava enintään 200 metrin etäisyydellä järjestelmän syöttöpisteestä ja jokaisen yli 200 metrin pituisen johdon tai johtohaaran loppupäässä tai enintään 200 metrin etäisyydellä loppupäästä, kuten kuvassa 15 on esitetty. [15 s. 189]



Kuva 15. Ulkovalaistusverkon maadoitukset $L \leq 200$ m. Havainnekuva.

2.6 Valaistusrakenteiden mitoitus

Tässä osiossa käydään läpi suunnittelun kannalta tärkeimmät valaistusrakenteiden mitoitus ja valintaperiaatteet. Perinteisesti pylväiden, mastojen ja jalustojen mitoitus kuuluu geo- ja rakennesuunnittelijoille, mutta ne ovat oleellisia asioita valaistus- ja sähköistys-suunnittelijalle. Sähkösuunnittelija tyypittää valaistusrakenteet. Valmistajat ilmoittavat valmiit taulukot, joiden mukaan valaistusrakenteet ja perusteet voidaan mitoittaa. Erityiskohteissa on hyvä tiedostaa mitoituksen perusteet, jotta jokaiseen kohteeseen saadaan turvallisesti ja toimivat valaistusrakenteet. Valaisinmastojen mitoituksessa tulee olla erityisen tarkka. Valaisimen vertailussa on hyödynnetty ST-kortissa *ST 57.45.01 Valaisimien vastaavuus. Vertailutaulukon laadinta* annettuja ohjeita.

2.6.1 Valaisimien valinnan ja vertailun periaatteet

Valaisimia voidaan vertailla keskenään valoteknisten ominaisuuksien, ulkonäön ja fyysisten ominaisuuksien perusteella. Söderkullan urheilukentän kohdalla energiatehokkuus ja laitteiden elinkaari ovat keskeisimmässä asemassa vertailussa. Vertailtavia suureita, jotka voidaan taulukoida suoraan ovat;

- teho

- valonlähteiden määrä, tyyppi ja valovirta
- valaisimen käyttöhyötysuhde
- häikäisy suojaus
- liitäntälaitteiden sähkötekniset ominaisuudet
- valonjako. [16]

Lisäksi voidaan vertailla osien valmistusmateriaaleja sekä rakenteellisiin, asennusteknisiin ja huollettavuuteen liittyviä ominaisuuksia. Valaisimen vertailuun voi liittyä ominaisuuksia, joita ei voida suoraan taulukoita, esimerkiksi

- esteettiset näkökulmat, kuten muoto ja väri
- valaisimen todellinen käyttö- ja hyötyikä asennuspaikalla
- taloudellisuus ja
- sähköiset ominaisuudet. [16]

Ledivalaisimissa on havaittavissa eroja värien tasaisuudessa uutena, että polttoain kertyessä. MacAdam–ellipsit ilmoittavat valaisimien värierot uutena ja värin pysyvyyden polttojakson lopussa, joka on yleensä 6 000 tuntia. Ledivalaisimissa on lisäksi kiinnitettävä huomiota valaisimen polttoikään, joka perustuu valovirran alenemaan.

Kun vertaillaan, ledivalaisimia on hyvä muistaa, että ledivalaisimet voivat poiketa ulkomuodoltaan toisistaan, vaikka valaistuksen lopputulos olisi kovin samanlainen. Ulkonäköerot voivat johtua siitä, mikäli optiikka on toteutettu linssillä tai heijastimella, sekä häikäisy suojaustoista ja valaisimien erilaisista mitoista. Nämä tekijät vaikuttavat oleellisesti valaisimen synnyttämään häikäisyyn. [16]

Muita vertailtavia tekijöitä ovat

- ympäristön lämpötilan vaikutus
- sallitut polttoasennot
- jätteenkäsittely ja
- ympäristövaikutus. [5]

2.6.2 Pylväät ja mastot

Valaisinpylväiden tulee täyttää Väyläviraston (entinen Liikennevirasto) *Tie valaisinpylväiden ja jalustojen laatuvaatimukset* julkaisussa esitetyt vaatimukset. Valaistusasennukseen käytettävillä pylväillä on oltava voimassa Liikenne- ja viestintäministeriön tyyppihyväksyntä tai CE-merkintä standardin *SFS-EN ISO 40* mukaan. [15, s. 174]

Metalli- ja komposiittimuovipylväille on ohjeistus pylväiden

- tuulipinnoille, taipumalle ja kuormien osavarmuuskertoimille
- kytkentäaukon vähimmäiskoolle, pylvään pintakäsittelylle
- sekä törmäysturvallisuudelle.

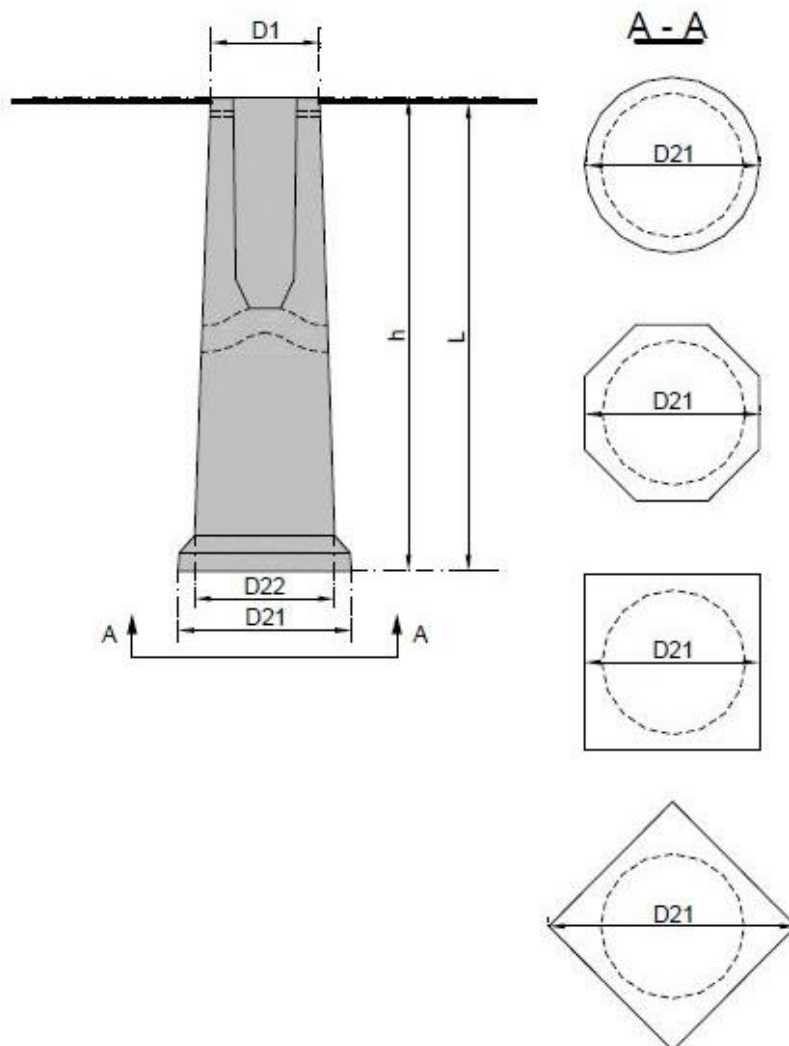
Pylvään CE-merkissä ilmoitetaan tuulen referenssinopeus, mille pylväs on mitoitettu. Suomessa laskelmissa referenssinopeutena käytetään vähintään 21 m/s. Mikäli ympäristön tuuliolosuhteet poikkeavat referenssinopeudesta, mitoituksessa sovelletaan esimerkiksi Väyläviraston (entinen Liikennevirasto) ohjeita *Tie valaisinpylväiden ja jalustojen laatuvaatimukset 14/2010* kertoimia ja ohjearvoja. Tarkempi mitoitus tehdään *SFS-EN 40—3-3* mukaan. CE-merkkiin merkitään pylvään taipumisloukka. Taipuma saa olla enintään 6 % varren pituuden ja pylvään korkeuden summasta. Lisäksi CE-merkissä on ilmoitettu suurin valaisimen massa ja poikkipinta-ala, jolle pylväs ja varsi on mitoitettu. [17, s.6–7]

Pylväsvalmistajat suosittelevat säännöllistä huolto-ohjelmaa pylväiden elinkaaren pidentämiseksi. Eritoten puupylväissä pääasialliset syyt pintakäsittelyn heikkenemiseen, ovat UV-säteily ja suhteellinen ilmankosteus. Nämä vaikuttavat puupylvään ulkonäköön, sekä mahdollisesti aiheuttavat puumateriaalin vioittumisen. Ongelmilta vältytään säännöllisellä huollolla ja kunnossapidolla. Pylväsvalmistaja Tehomet Oy ilmoittaa, että puupylväiden pintakäsittelyn ikääntymisen ensimmäinen vaihe kestää kolmesta seitsemään vuotta, lukuun ottamatta merenranta-asennuksia, jossa tuulen puhaltama hiekka voi vahingoittaa kaikkia pylvään materiaaleja.

Kaikki valaisinmastot varustetaan kunnossapitotasolle ja ruostumattomalla teräsvaijeriputoamissuojalla. Teräspylväiden kuumasinkitys on standardin *SFS-EN ISO 1461* mukainen. Täydentäviä vaatimuksia on Liikenne- ja viestintäministeriön laatuvaatimuksissa. [15, s. 173]

2.6.3 Jalustat ja perustukset

Tyypillisesti jalustojen ja perustusten ohjeet ja mitoitus saadaan suoraan valmistajalta. Kuten edellä mainittu jalustojen mitoitus kuuluu geo- ja rakennesuunnittelijoille, mutta ne ovat oleellisia asioita valaistus- ja sähköistyssuunnittelijalle. Jalustan geotekniset laskelmat ja maaperän arviointi tehdään Väyläviraston (entinen Liikennevirasto) ohjeiden mukaisesti [kuva 16]. Jalustan koko valitaan pylvääseen kohdistuvan kaatavan momentin, pohjamaan materiaalin ja ympäristäytteen mukaan. [15, s. 176]



Kuva 16. Pylväsjalustan DL^3 -mitan määrittäminen.

Pylväsjalustan DL^3 -luvun määrittäminen, jossa

- D on pylvään ala- ja yläpään halkaisijan keskiarvo $(D1+D2) / 2$

- Halkaisija D1 ja D2 on valaisinpylväissä varren suuntainen lävistäjä ja liikennemerkeissä taulua vastaan kohtisuora suunta, kuitenkin enintään 1,2 kertaa pienin lävistäjä kyseisellä jalustan korkeudella.
- D2 on jalustan alapään halkaisija D21, kuitenkin enintään 1,2 kertaa D22.
- L on jalustan upotussyvyys. Valaisinpylväsjalustalla $L = h - 0,1$ m, ellei asennusohjeessa muuta ilmoiteta; liikennemerkkijalustalla $L = h - 0,05$ m, missä h on jalustan kokonaiskorkeus.

Alla olevassa kuvassa 17 on erikokoisten pylväiden aiheuttama kaatava momentti ja sen edellyttämä jalustalta vaadittava DL³-mitta yksikössä m⁴.

Korkeus + varsi, m	Luiska	8 + 0	10 + 0	10 + P2,5 12 + 0	10 + P4,0 10 + T2,5	12 + P2,5	12 + P4,0 12 + T2,5	13,5 + P3,5 15 + 0
Kaatava momentti, kNm		3,7	5,7	9,8	12,6	14,9	18,6	21,8
Pohjamaa								
P3 sora, tiivis Hk tai HkMr	1:3	(0,32 m ⁴)	(0,49 m ⁴)	(0,85 m ⁴)	(1,09 m ⁴)	(1,29 m ⁴)	1,61 m ⁴	1,89 m ⁴
P4k kivikiilaus								
P4m kapea murske								
P4 SiMr, siHkMr, löyhä	1:3	0,45 m ⁴	0,69 m ⁴	1,19 m ⁴	1,53 m ⁴	1,81 m ⁴	2,26 m ⁴	2,65 m ⁴
HkMr, kuivakuorisavi								
P5m kapea murske								
P5 löyhä tasHk, märkä Hk	1:3	0,62 m ⁴	0,95 m ⁴	1,63 m ⁴	2,1 m ⁴	2,48 m ⁴	3,10 m ⁴	3,63 m ⁴
P6m kapea murske								
P6 sitkeä savi su = 15...25 kPa	1:3	0,88 m ⁴	1,36 m ⁴	2,33 m ⁴	3,0 m ⁴	3,55 m ⁴	4,43 m ⁴	5,19 m ⁴

Kuva 17. Erikoisten pylväiden aiheuttama kaatava momentti ja sen edellyttämä jalustalta vaadittava DL³-mitta yksikössä m⁴. (InfraRYL 2018/1)

Metalli- ja muovipylvään jalustassa on upotuskiinnitys. Laippakiinnitys kuten myös teräsjalustan käyttö edellyttää tilaajan lupaa. Teräsjalustojen ainepaksuuden on oltava vähintään 3 mm ja sinkkipaksuuden vähintään 0,065 mm, jos teräspaksuudessa ei ole syöpy-misvaraa, joka on mitoitettu julkaisun *Sivukuormitetut pilariperustukset* mukaan. [15, s. 176]

Valonheitinmastojen perustamisessa käytetään tavanomaisesti laattajalustaa. Se tukeutuu kantavaan maapohjaan tai teräsbetonisten tukipaalujen avulla kovaan pohjaan. Mastojen maksimikuormat huomioidaan jalustatyyppien määrittelyssä. [17, a. 145]

3 Elinkaaren kustannusten laskennan periaatteet

Tässä osiossa on nostettu esiin muutamia Väyläviraston (entinen Liikennevirasto) laskentakaavoja ja ohjeita julkaisusta *Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu*. Laskentakaavat ovat tarkoitettu katuvalaistuksen elinkaarikustannusten laskentaan, joten näitä kaavoja on käytetty soveltuvin osin urheilualueen laskelmissa kappaleessa 6.

Elinkaarikustannuslaskennan haasteena on eri kustannusten eriaikainen syntyajan kohta. Rakennuskustannus on kertaluonteinen investointi hankkeen alussa, joka voidaan laskea ja arvioida tarkkaan. Urheilukentän ja liikuntapaikkojen käyttökustannuksia kuten energiakustannuksia syntyy jatkuvasti ja kunnossapitokustannuksia tiettyjen ajanjaksojen välein koko elinkaaren ajan. Elinkaaren eri vaiheissa syntyvät kustannukset saadaan vertailukelpoisiksi investointilaskentamenetelmillä. Nykyarvomenetelmässä kaikki kustannukset diskontataan nykyhetkeen laskentakoron ja pitoajan perusteella. Annuiteettimenetelmässä kaikki kustannukset tasataan rakennuksen koko pitoajalle yhtä suuriksi vuoksikustannuksiksi laskentakoron perusteella. [18 s. 7]

Elinkaarikustannusten nykyarvo voidaan laskea kaavalla (7)

$$E_k = K_r + K_h + \frac{1}{(1+p)^t} \cdot J \quad (7)$$

jossa

E_k	on elinkaarikustannusten nykyarvo
K_r	on rakennuskustannukset
p	on hallinnollisesti määrätty laskentakorko, yleensä 5 %
t	tarkasteluajanjakson pituus vuosissa, yleensä 30 vuotta
K_h	on hoitokustannusten nykyarvo ja
J	on jäännösarvo.

Laskennallinen jäännösarvo on yleensä 25 % rakennuskustannuksista. [3, s.119]

Keskimääräinen vuosikustannus lasketaan kaavalla (8)

$$K_v = a \times K_r + (1 + \beta_e)^t \times K_{e1} + (1 + \beta_{kp})^t \cdot K_{kp1}, \quad (8)$$

jossa

α	on annuiteettitekijä
β_e	on energiakustannusten vuotuinen kasvu, yleensä 6 %
β_{kp}	on kunnossapitokustannusten vuotuinen kasvu, yleensä 3 %
K_r	on rakennuskustannukset,
K_{e1}	on ensimmäisen vuoden energiakustannukset,
K_{kp1}	on ensimmäisen vuoden kunnossapitokustannukset,
t	on tarkastelujaksonpituus laskenta-ajan puolella välissä, yleensä 15 vuotta.

Annuiteettitekijä α saadaan laskentakoron ja laskenta-ajan funktiona kaavalla (9)

$$\alpha = \frac{p}{1 - (1+p)^{-t}}, \quad (9)$$

jossa

p	on hallinnollisesti määrätty laskentakorko, yleensä 5 % ja
t	on tarkasteluajanjakson pituus vuosissa. [3, s. 119]

3.1 Rakennuskustannukset

Urheilukenttien ja liikunta-alueiden rakennuskustannukset muodostuvat kokonaisuudessaan; maa- ja pohjarakenteista, päällysteistä, kalusteista ja varusteista, valaistuksesta, muista teknisistä järjestelmistä, katsomoista ja yleisötiloista, sosiaali- ja huoltotiloista, sekä pysäköintipaikoista ja ulkoalueista. [18, s. 7]

Urheilukentän valaistuksen investointikustannukset vaihtelevat valaistusuunnitelmasta riippuen. Yleisimmin kustannukset ovat noin 50 000–90 000 € välillä. [18, s. 35]

Rakentamisen paikkakohtaisten hintaerojen ja kohteiden maantieteellisten sijaintien vaikutukset voidaan ottaa huomioon käyttämällä korjauskertoimia, kuten esimerkiksi:

- Pääkaupunkiseutu: +10 %
- Pääkaupunkiseudun kehityskunnat: +5 %
- Kasvukeskukset: ± 0 %
- Muut kunnat, Pohjois-Suomi: - 2,5 %
- Muut kunnat, Etelä- ja Keski-Suomi - 5 %

Korjauskertoimet ovat karkeita arvioita, joita voidaan käyttää suuntaa-antaviin laskelmiin. [18, s. 8]

Ulkovalaistuksen rakennuskustannukset ovat arvioituja kustannuksia. Toteutus suunnitteluvaiheessa lasketut kustannusarviot antavat asiakkaalle hyvän kuvan rakennusvaiheen kustannuksista. Kustannusten laskemisessa hyödynnetään kokemusperäistä tietoa, tukkuliikkeiden ilmoittamia hintoja sekä Sähköinfo Oy:n julkaisemaa *Sähköurakan yksikkökustannuksia II 2017*. Julkaisun tarvikkeiden hintataso perustuu suurimpien tukkuliikkeiden sähkötarvikehinnastoihin ja useiden urakoitsijoiden keskimääräisiin ostoeh-toihin. Tässä työssä on arvioitu julkaisun B-tason mukaiset kustannukset, johon kuuluu työkustannukset, ateriakorvaus ja omaa autoa käyttäen yksi matkatunti.

3.2 Energiakustannukset

Urheilukentillä ja liikunta-alueilla sähkön energiakustannukset muodostuvat tyypillisesti valaistuksesta, taloteknisistä laitteista, muiden laitteiden sähköenergiantarpeesta, ja tu-los- ja mainostaulujen sekä mahdollisten muiden erikoislaitteiden sähköenergiankulutuk-sesta. [18, s. 8]

Ensimmäisen vuoden huoltokustannukset määritellään kaavalla (10)

$$K_{kp1} = \frac{N \cdot H_l}{t_2} + q \cdot N \cdot H_{ly} + M \cdot C, \quad (10)$$

jossa

N	on valaisimien lukumäärä
H _l	on lampun ryhmävaihdon perushinta sisältäen asennustyön (€/kpl), tai LED-valaisimen tai LED-moduulin ja liitäntälaitteen ryhmävaihdon tai -vaihtojen perushinta sekä LED-valaisimen puhdistukset valaistuksen eliniän aikana sisältäen kaikki asennus- ja puhdistustyöt (€/kpl).
t ₂	on lampun polttoikä (a), tai LED-valaistuksen tarkastelujakson pituus vuosissa, yleensä 30 (a).
q	on yksittäisvaihtojen suhteellinen määrä vuosittain, tai liitäntälaitteen tai LED-moduulin tai LED-valaisimen yksittäisvaihdon perushinta sisältäen asennustyön (€/kpl).
H _{ly}	on lampun yksittäisvaihdon perushinta sisältäen asennustyön (€/kpl), tai liitäntälaitteen tai LED-moduulin tai LED-valaisimen yksittäisvaihdon perushinta sisältäen asennustyön (€/kpl).
M	on pylväiden lukumäärä
C	on kiinteät kustannukset (€/pylväs). [3, s. 118]

Energiakustannusten nykyarvo määritellään kaavalla (11)

$$K_e = \sum_{t=0}^n \left(\frac{1+\beta_e}{1+p} \right)^t \times K_{e1} \quad (11)$$

jossa

β _e	on energiakustannusten vuotuinen kasvu, yleensä 6 %,
p	on hallinnollisesti määrätty laskentakorko, yleensä 5 %,
t	on tarkasteluajan pituus vuosissa, yleensä 30 vuotta ja
K _{e1}	on ensimmäisen vuoden energiakustannukset. [3, s. 119]

3.3 Ylläpitokustannukset

Valaistusasennuksen valotaso heikkenee valaistuksen elinkaaren aikana. Siihen vaikuttavia tekijöitä ovat valaisimien kuluminen, likaantuminen, kuolleisuus ja valaistujen pintojen kuluminen. Ylläpitosuunnitelma on avainasemassa valaistusasennuksen arvojen säilymisen kannalta sen elinkaaren ajan. [15 s. 13]

Ledivalaisimien kunnossapitokustannukset määräytyvät valaisimien puhdistuskustannuksista sekä valaisimien tai ledimoduulien, liitäntälaitteiden ja muiden tarvittavien sähköosien ryhmävaihdosta tai yksittäisvaihdoista. [3, s.114]

Ledivalaisimista ei ole pitkän ajanjakson kokemusperäistä tietoa kunnossapitotarpeista tai niiden kustannuksista. Ledivalaisimen eliniäksi arvioidaan yleensä 50 000–100 000 tuntia nykyään tuo arvio on aina lähempänä 100 000 tuntia. Arvot vaihtelevat hyvin pitkälti valaisintyyppistä ja käytöstä riippuen. Ledivalaisimien ja ledimoduulien, sekä liitäntälaitteiden hinnat vaihtelevat paljon käyttötarkoituksesta, valmistajasta ja valaisintyyppistä riippuen. Laskentahetkellä voimassa olevat hinnat saadaan valaisinvalmistajilta. [3, s.117–118]

Ensimmäisen vuoden kunnossapitokustannukset määritellään seuraavalla kaavalla (12)

$$K_{kp1} = \frac{N \cdot H_l}{t_2} + q \cdot N \cdot H_{ly} + M \cdot C \quad (12)$$

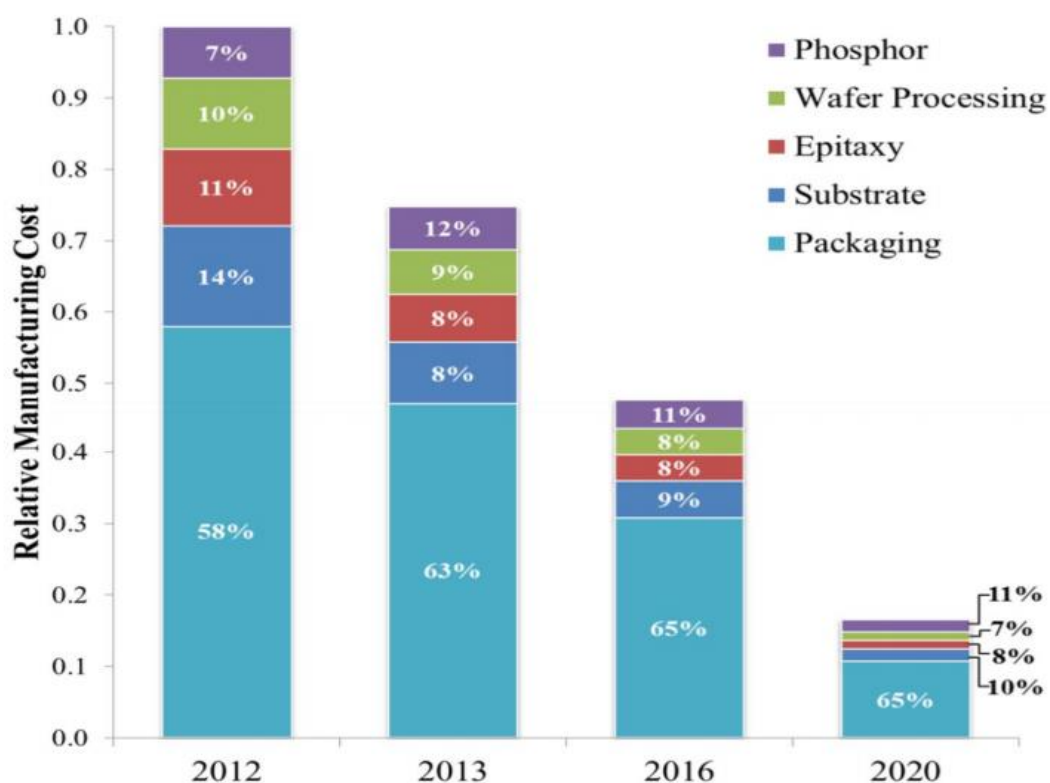
jossa

- N on valaisimien lukumäärä,
 H_{lr} on lampun ryhmävaihdon perushinta sisältäen asennustyön (€/kpl), tai LED-valaisimen tai LED moduulina ja liitäntälaitteen ryhmävaihdon tai –vaihtojen perushinta sekä LED-valaisimen puhdistukset valaistuksen eliniän aikana sisältäen kaikki asennus- ja puhdistustyöt (€/kpl).
 t_2 on lampun polttoikä (a) tai LED-valaistuksen tarkastelujakson pituus vuosissa, yleensä 30 (a).
q on yksittäisvaihtojen suhteellinen määrä vuosittain

H_{ly} on lampun yksittäisvaihdon perushinta sisältäen asennustyön (€/kpl), tai liitäntälaitteen tai LED-moduulin tai LED-valaisimen yksittäisvaihdon perushinta sisältäen asennustyön (€/kpl)

M on pylväiden lukumäärä ja C kiinteät kustannukset (€/pylväs). [3, s. 118]

Asennuksen käyttöiän lisääntyessä valaisimien hinnankelitys voikin olla ledivalaisimien kohdalla laskusuhdannaisia tuotekehityksen edetessä. Hintakehityskäyrä on tasaantumassa [kuva 18]. Täytyy myös muistaa, että ledien kehityssykli on ollut muita valonlähteitä tiheämpää ja markkinoille saapuu jatkuvaa tahtia uusia valaisimia. [5]



Kuva 18. Ennuste ledien hinnankelityksestä. Lähde: DOE SSL Roundtable and Workshop attendees 2013.

4 Esimerkkikohte Säterinniityn kenttä

Espoon Leppävaarassa sijaitsevan Säterinniityn urheilukenttä ja monitoimikenttä rakennettiin vanhalle viljapellolle ja ne valmistuivat vuonna 2016. Valaistus- ja sähköistysuunnitelmasta vastasi FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy:n valaistus- ja sähkösuunnittelija Niko Kivioja. Kohdetta käytetään Söderkullan urheilukentän mallina ja suunnittelun esimerkkikohteena. Käyttäjien antama palaute Säterinniityn kentän valaistuksesta on ollut positiivista.

Urheilukentän valaistus on toteutettu Philips Optivision LED gen2 ledivalonheittimillä [kuva 19]. 18-metrisiä mastoja on molemmin puolin kenttää kolme ja jokaisessa mastossa on kaksi valonheitintä.



Kuva 19. Espoossa sijaitsevan Säterinniityn kentän valaistus on toteutettu Philips Optivision LED gen2 -valonheittimillä.

Alueen monitoimikenttä sijaitsee urheilukentän vieressä [kuva 20]. Valaistus on toteutettu 12-metrin mastoilla ja Philipsin ClearFlood-ledivalonheittimillä. Mastoja on neljä ja heittämiä kolme yhtä mastoa kohden.



Kuva 20. Säterinniityn monitoimikenttä.

Valaistuksen ohjaus toteutettiin radiotaajuuteen perustuvalla C2-järjestelmällä. Urheilu- kentän ja monitoimialueen valaistus ohjautuu aluekohtaisilla C2-painonappeilla. Säterinniityn kentän valaistuksen raja-arvoina on käytetty taulukossa 11 esitettyjä arvoja.

Taulukko 11. Säterinniityn kentän valaistustilanteet.

Valaistustilanne	Himmennysprofiili (%)	Valaistuksenvoimakkuus $E_{hor,AVE}$ (lx)	Tasaisuus ($E_{hor,Min}/E_{hor,Max}$)
Kentän 1/1 –valaistus	0	150	0,5
Kentän 1/2 –valaistus	50	75	0,4
Yösammutus (klo 23-07)	-	-	-

Näiden lisäksi järjestelmään on ohjelmoitu huoltovalaistustilanne, jolloin vain yhden maston heittimet ovat päällä.

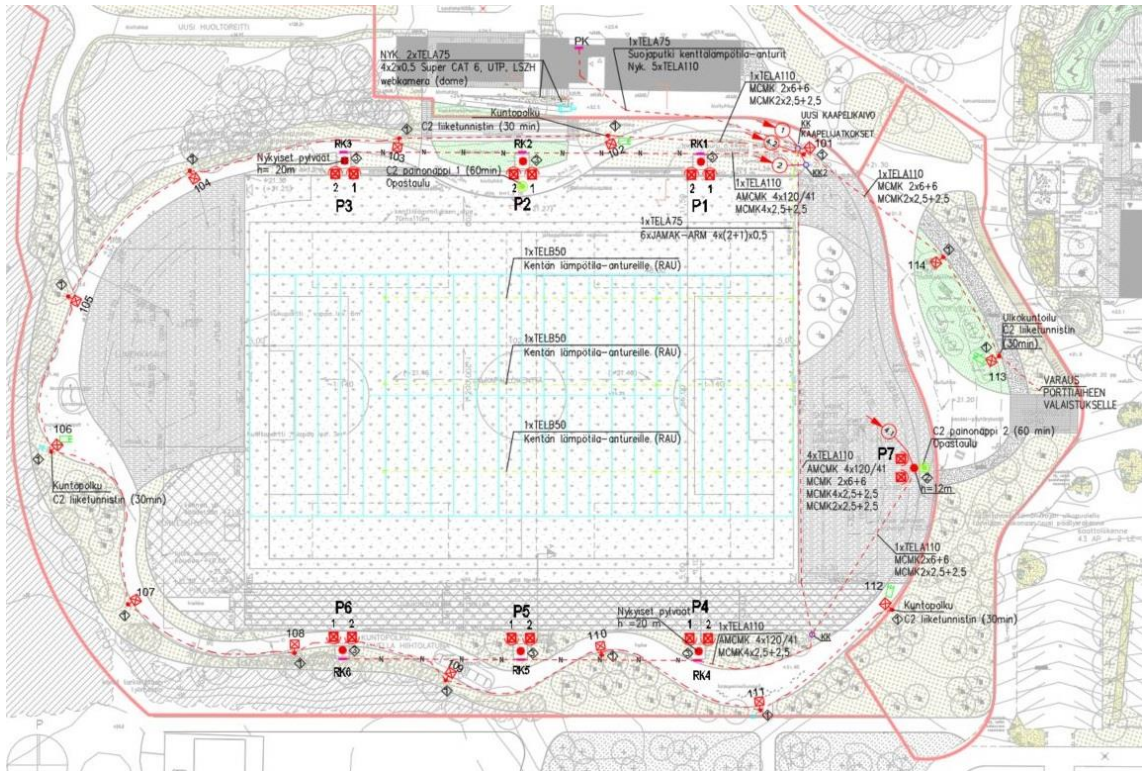
5 Söderkullan urheilukentän alueen valaistusrakenne

Söderkullan urheilukentän suunnittelun lähtötiedot on saatu Sipoon kunnalta. Alueen käyttäjät ovat harrastelijoita ja koululaisia, yleisesti ottaen nuoria. Valaistuksen tulee olla riittävä tähän tasoon nähden, joten suunnittelussa tähdätään III-tason vähimmäisvaatimuksiin. Valaistusvaatimuksia käsiteltiin luvussa 2.3. Tässä työssä ei oteta kantaa valaistukseen, joka täyttää televisiokuvaamiseen vaaditut arvot, sillä Söderkullan urheilukenttä on harrastekäytössä. Näin ollen ei ole oletettavaa, että tarvitaan valmius televisiokuvaamiseen. Ulkovalaistuksen taso täytyy silti olla riittävä huolto- ja pukukoppirakennuksen ympärillä sijoitettavalle kameravalvontajärjestelmälle. Söderkullan urheilukentän välittömässä läheisyydessä ei sijaitse asuinrakennuksia, mutta tulevaisuutta silmällä pitäen, nämä seikat huomioidaan valaistuksen mitoituksessa. Kiinteistöihin kohdistuvia sallittuja enimmäisarvoja käsitellään luvussa 2.3.2. Liitteessä 1 on esitelty hankkeen valaistukseen liittyviä laskelmia.

Urheilukentillä ja liikunta-alueilla valaistuksen rakenne jakautuu yleensä kahteen osaan eli kulkuteiden ja yleisalueiden yleisvalaistukseen sekä liikuntapaikan kohdevalaistukseen. Söderkullan urheilukentän ja liikunta-alueiden valaistusalueet jaetaan palvelemaan viittä eri toiminnallisuutta. Valaistus palvelee urheilukentän käyttäjiä, kuntopolun käyttäjiä, skeittipaikan käyttäjiä ja ulkokuntoilupaikan käyttäjiä. Yleisvalaistus suunnitellaan puisto- ja katuvalaistuksen periaatteella ja kohdevalaistus kyseisen liikuntamuodon SFS-standardin vaatimusten mukaan. Valaistusvaatimuksia käsiteltiin luvussa 2.3. Jokaisen toimialaisuuden valaistus suunnitellaan kokonaisuutta ja yhtenäisyyttä silmällä pitäen. Urheilupainotteisen ja aktiivisen alueen valonvärin lämpötilaan kiinnitettiin myös huomiota. Koko alueelle valittiin kylmänsävyinen valonvärilämpötila. Valonväriominaisuuksia käsiteltiin luvussa 2.1.2.

Alueen sähkösuunnitelmassa on pyritty hyödyntämään mahdollisimman paljon olemassa olevia asennuksia. Niin ikään kaapelointi uusintaan osittain ja urheilukentän nykyiset valaisinmatot sekä niiden jalustat hyödynnetään ja säilytetään nykyisillä paikoillaan. Lisäksi nykyiset ryhmäkeskukset palvelevat suunnitelmaa hyvin. Keskuksiin tehdään tarpeelliset muutokset ja ryhmäkeskusten keskuskaappien jalustan sisäosa täytetään kevytsoralla asennuksien jälkeen. Nykyinen sähköliittymä säilytetään. Aluekaapeloinnit suoritetaan suunnitelmakartan mukaisesti [kuva 21]. Ryhmitys tehdään vaiheiden L1, L2 ja L3 kesken tasaisesti. Maakaapeliasennuksissa kaapelin päät suojataan kutistemuovipäätteellä, jolla estetään veden pääsy kaapelin sisään. Suunnitelmassa pyritään

hyödyntämään nykyisiä kaapelireittejä ja suojaputkituksia keskustilasta kaapelikaivoille, joissa kaapelit jatketaan.



Kuva 21. Söderkullan urheilukentän sähkösuunnitelma.

Alueen johtoreitit putkitetaan kokonaisuudessaan, putket ovat kokoa DN110 ja lujuusluokka A. Putket asennetaan siten, että niiden laki on noin 500 mm valmiin pinnan alapuolella. Kaikki putket varustetaan vetolangoilla ja varaputket tulpataan. Alueelle suunnitellaan kaapelikaivoja, joissa yhdessä on pistorasiakeskus tapahtumasähköä varten.

Valonheittimet varustetaan varmistusvaihjereilla, joilla estetään heittimen putoaminen, jos kiinnityspultti pettää ja huoltotoimenpiteiden turvallisuutta silmällä pitäen. Kuntopolun ja skeittipaikan valaisinpylväiden jalustat on mitoitettu vaatimusten mukaan. Jalustan mitoituksen periaatteita käsiteltiin luvussa 2.6.3. Jalustan yläpää asennetaan 100 mm valmiin pinnan yläpuolelle. Jalustojen kaivanto täytetään 35 mm routimattomalla murskeella ja tiivistetään kerroksina tärylevyllä enintään 0,3 m. Jalustat asennetaan siten, että ne ovat pystysuorassa pituus- ja poikkisuuntaan nähden ja jalustan yläpinta on vaakasuorassa molempiin suuntiin.

5.1 Valaistusperiaate

Tekonurmikentän ympärivuotinen käyttö edellyttää, että kentälle rakennetaan riittävän tasoinen valaistus. Valaistus voidaan toteuttaa 4–8 valaisinpylväällä. Suoja-alue, eli pylväiden etäisyys pelialueen rajasta on oltava vähintään 5 metriä. Mikäli kentällä on olemassa etukäteen jo valaistusmastot ja valaisimet, on syytä selvittää valaistuksen peruskorjaus. Se on yksi keino säästää kenttähankkeen loppukustannuksissa. [19, s. 35]



Kuva 22. Kuvankaappaus Dialux–valaistuslaskentaohjelmasta.

Söderkullan urheilukentän ympärillä on kuusi nykyistä valaisinmastoa, joita hyödynnetään tässä suunnitelmassa. Kuvankaappauksessa ei näy hiekkakentän tai huolto- ja pukukoppirakennuksen ympärillä sijaitsevia valaisimia eikä koulun pihaan ja kulkuväylille sijoitettuja valaisimia [kuva 22]. Kentän mastot eivät ole symmetrisellä etäisyydellä valaistavaan alueeseen nähden. Eteläisellä puolella kenttää, mastot sijoittuivat noin 18 metriä kentän pelialueen rajasta ja pohjoisella puolella noin 14 metriä. Jokaiseen pylväeseen sijoitetaan kaksi ledivalonheitintä, jotka suunnataan Dialux-laskelmissa saatujen tulosten mukaan [kuva 23]. Valonheittimien suuntaus ilmoitetaan suunnitelma-asiakirjoissa.

5.2 Ohjausperiaate

Noin 500 metrin pituiselle kuntopolulle toivottiin liiketunnistuksella älykkäästi ohjattua valaistusta. Valaistus olisi himmennettynä esimerkiksi 90 % ja liiketunnistimen havaittua liikettä valaistuksen luminanssitaso nostetaan 100 %:iin. Valaistus himmentyy, kun liikettä ei havaita määräajan kuluessa. Kuntopolulle on sijoitettu kolme C2-järjestelmään kytkettyä liiketunnistinta sekä yksi liiketunnistin ulkokuntoilupaikalle. C2-järjestelmän periaatteita käsiteltiin luvussa 2.4.6. Liiketunnistimet ovat sijoitettu kentän etelä-, länsi-, itä- ja pohjoispäättyyn. Asiakas on ilmoittanut käyttöajoiksi kello 6–22. Skeittipaikan valaistuksen ohjaus on painonappitoiminnolla. Valaistus on sovitulla himmennetyllä tasolla ja painonapilla käyttäjä saa täyden valaistustehon määräajaksi. Yösammutus kytketään kello 22–7 välisenä aikana. Urheilukentän valaistuksen ohjaus toteutetaan asiakkaan toiveiden mukaan aikaohjauksella sekä lisäaikapainikkeella. Alueelle sijoitetaan opas- taulut käyttäjien ohjeistusta varten [kuva 25].



Kuva 25. Skeittipaikan ja urheilukentän painonappi ja infotaulut. Kuva FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy.

Urheilukentän valaistuksen ohjausperiaatteena on, että määriteltynä käyttöaikoina valaistus on täydellä teholla päällä, jolloin valaistuksen keskimääräinen luminanssitaso on

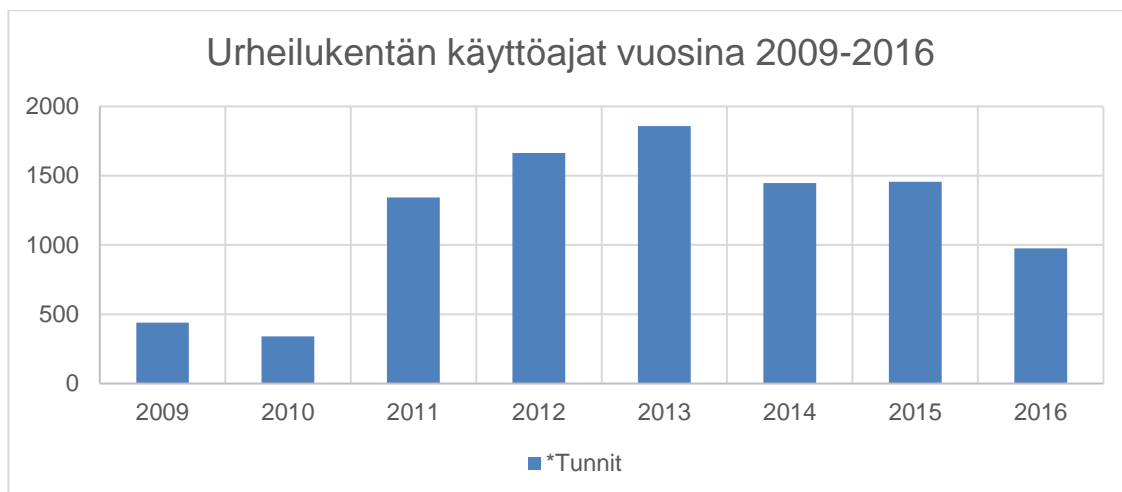
100 %. Lisäaikapainikkeella käyttäjät voivat jatkaa valaistusta varsinaisen käyttöajan ulkopuolella. Jotta kentän valaistus ei sammuisi yllättäen käyttöajan ulkopuolella, valaistustehoa pudotetaan himmentäen sopivaan tahtiin. Silmät sopeutuvat niin ikään paremmin pimeyteen sekä käyttäjät ymmärtävät hyödyntää lisäaikapainiketta. Yösammutus kytketään kello 23–7 välisenä aikana. Jokaisella mastolla on oma ryhmäkeskus, johon sijoitetaan C2–ohjauslaitteet ja valaisimen omat liitäntälaitteet. Taulukossa 12 on esitetty himmennysprofiili.

Taulukko 12. Urheilukentän valonheittimien käyttöaika ja himmennysprofiili.

Käyttöaika	Himmennysprofiili (%)	Valaistusvoimakkuus $E_{hor,AVE}$ (lx)	Tasaisuus ($U_{2,hor}$)
Arkisin kello 17–22	0	150	0,5
Viikonloppuisin kello 15–22	0	150	0,5
Muu aika, painikkeella	50	75	0,4
Lisäaikapainike (klo 22–23)	0	150	0,5
Yösammutus (klo 23–07)			

6 Söderkullan urheilukentän alueen elinkaarilaskelmat

Elinkaarilaskelmissa on hyödynnetty Motivan VALTTI-elinkaarilaskuria sekä insinööri-työssä käsiteltyjä kaavoja ja kokemuseräistä tietoa. Laskelmat on tehty Excel-ohjelmalla, ja ne ovat suuntaa antavia, mutta toimivat hyvänä lähtökohtana ratkaisuiden vertailussa tulevissa urheilukenttä- ja liikunta-alueprojekteissa. Tässä työssä lasketaan kentän valaistusratkaisuja ja liikunta-alueiden valaistus. Kuntopolun valaistus voidaan laskea soveltaen Väyläviraston (entinen Liikennevirasto) antamia ohjeita, kun taas urheilukentän laskennassa on erikseen huomioitavia asioita. Tässä työssä laskentakoroksi valittiin 5 % ja laskenta-ajaksi 30 vuotta. Työssä ei kuitenkaan huomioida elinkaaren lopussa mahdollisia käytöstäpoistokuluja tai jäännösarvoa. Kuvassa 26 on esitetty asiakkaalta saadut tiedot urheilukentän vuosittaisista käyttötuntimääristä ja kentän varausten lukumääristä vuosina 2009–2016. Kentän varausajat sijoittuvat kello 8–22 väliselle ajalle. Kentän varausvuorojen keskiarvoksi saadaan noin 1 190 h/vuosi. Kenttä on alkuperin suunniteltu ympärivuotiseen käyttöön, mutta nykyinen kentän lämmitysjärjestelmä on poistettu käytöstä. Se vaikuttaa siihen, että kerätty käyttödata keskittyy kesäaikaan.



Kuva 26. Söderkullan kentän varaustuntien lukumäärä vuosina 2009–2016.

Nykyisestä valaistusasennuksesta ei ole suunnitelmia, joten kustannusten laskennassa ei voitu huomioida minkälainen valaistuksen taso urheilukentällä on tällä hetkellä. On myös hyvä pitää mielessä luvussa 1.1 läpikäytyt suunnitelmien lähtötiedot. Taulukossa 13 on esitetty nykyisen valaistusasennuksen ja suunnitellun valaistuksen vertailua.

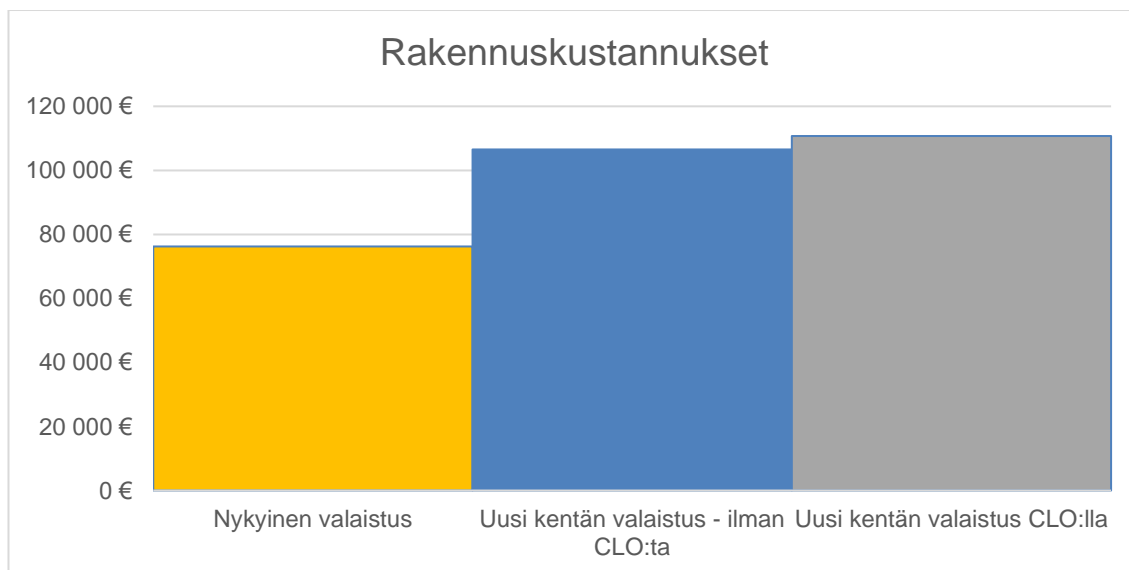
Taulukko 13. Nykyisen kenttävalaistusasennuksen ja suunnitellun valaistuksen vertailutaulukko.

	Nykyinen valaistus	Uusi valaistus
Valonlähde	Suurpainenatrium	LED
Valaisimien määrä ja teho	22 x 1000 W	12 x 1471 W
Kokonaisteho	22 000 W	17 652 W
Väriämpötila	2 000 K	5 700 K
Värinsoistoindeksi Ra	25	70
Valaisimen valovirta	130 000 lm	193 525 lm
CLO	ei	kyllä
Käyttötunnit	2 457 h a	2 457 h a
Himmennetty aika	0 h a	922 h a
Valaisimen käyttöikä	14 000 h	100 000 h
Huoltokerroin	0,70	0,90
Huoltoväli	4 a	4 a
Syttymisaika	6 min	-
Uudelleen käynnistysaika	4 min	-
Liitäntälaitteen vikaantuminen	ei tiedossa	0,5 % 50 000 h

Tilaaaja asetti selkeät linjaukset kuntopolun valaistustavalle ja käytettäville tuotteille. Po-lulle toivottiin AEC illuminazione MOD 2.0 URBAN, 28 W, valaisinta DALI yhteensopi-vuudella. Pylvääksi valittiin Tehomet Oy:n Pallas puupylväs. Nykyistä valaistusta ei ole.

6.1 Rakennuskustannusten vertailu

Rakennuskustannukset koostuvat kokoalueen sähköistyksen rakennuskustannuksista. Siihen kuuluvat uusi ohjausjärjestelmä, aluekaapelointi, asennukset, keskusmuutokset, valvontajärjestelmä, kentän lämpöanturavaraukset, kuntopolun ja skeittipaikan uusi valaistus. Erona hinnoissa on se, että nykyiseen kenttävalaistusasennukseen rakennuskustannuksiin ei ole lisätty valonheittimien hintoja [kuva 27].



Kuva 27. Kokoalueen rakennuskustannukset hankkeen alussa.

Rakennuskustannukset voidaan eritellä seuraavasti:

- uusi kaapelointi ja suoja-putket asennettuna noin 41 000 euroa
- uudet kaapelikaivot asennettuna noin 6 000 euroa
- pylväät ja jalustat asennettuna noin 12 000 euroa
- keskusmuutokset ja uusi ohjausjärjestelmä asennettuna noin 5 600 euroa
- ja uudet kuntopolun ja urheilukentän valaisimet asennettuna yhteensä noin 42 100 euroa.

6.2 Energiakustannusten vertailu

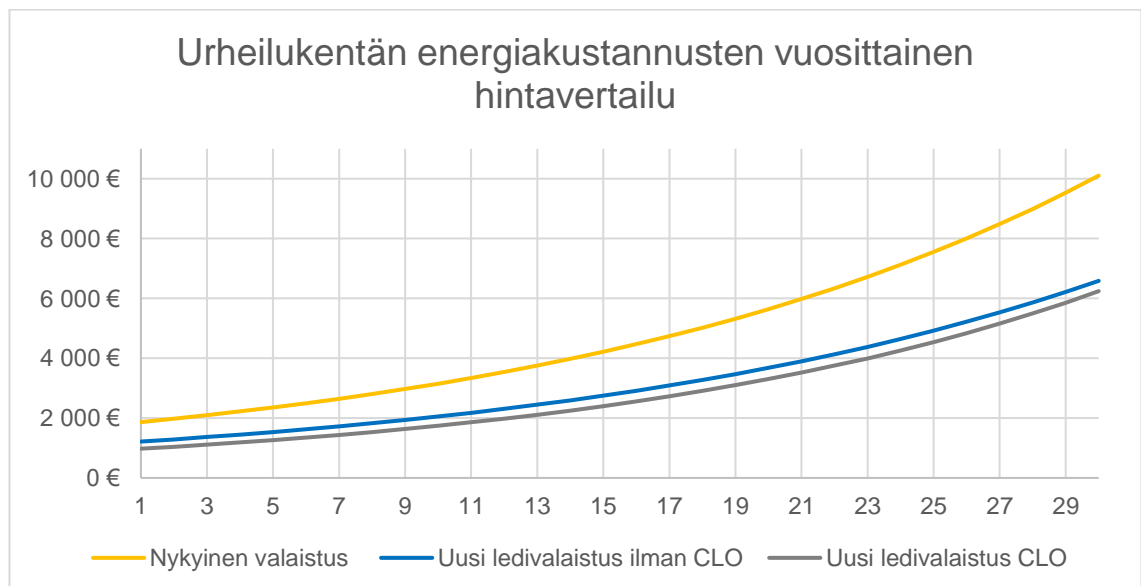
Sähkön hintana käytetään Sipoon Energian ilmoittamaa yleissähkön hintaa vuodelle 2018, joka on 3,45 snt/kWh. Vuosittaisen energianhinnannousuksi on arvioitu 6 %. Ener-

giakustannusten laskennassa on huomioitu ledien himmennettävyys ja vakiovalovirtaohjaus, joka pienentää tehonkulutusta käyttöiän alkupuoliskolla. Laskennassa oletetaan, ettei urheilukentällä eikä kuntopolulla tarvita niiden alueluokituksen vuoksi keinovaloa valoisana vuodenaikana 15. toukokuuta – 15. elokuuta (katso luku 2.3). Oletetaan, että näkemistehtävään on riittävästi auringonvaloa ilman keinovalaistusta tänä vuodenaikana. Näin ollen valaistuksen tarve laskennassa kutistuu 365 päivästä 273 päivään vuodessa. Tämä tekee kentän valonheittimien polttoajaksi 2 457 tuntia vuodessa kello 7–22 välillä, ottaen huomioon valoisa-aika kello 9–15, jolloin valaistus on pois päältä. Tilaajan määrittelemät urheilukentän käyttöajat ovat arkisin kello 17–22 välisenä aikana ja viikonloppuisin kello 15–22. Tällöin aktiivisiksi käyttötunneiksi oletetaan 273 päivän aikana 1 535 tuntia [taulukko 14].

Taulukko 14. Urheilukentän arvioidut käyttöajat ja –ajankohdat vuodessa.

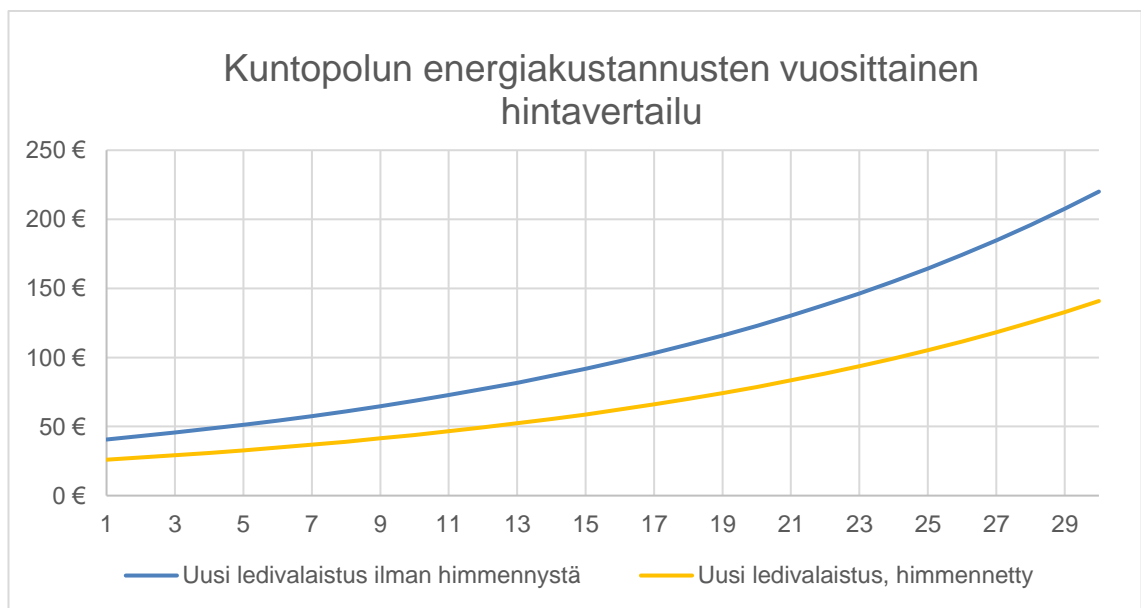
Aika	Käyttötunnit (h, a)
Arkisin kello 17–22,	940
Viikonloppuisin kello 15–22	595
Oletettu himmennettyaika välillä kello 7–22	922
Yhteensä	2 457

Energiakustannukset on laskettu nykyiselle valaistukselle, ledivalonheittimille ilman vakiovalovirrarahjausta eli CLO:ta ja ledivalonheittimille, joissa on CLO [kuva 28].



Kuva 28. Urheilukentän energiakustannusten hinnankehitys 30 vuoden aikana.

Koska kuntopolkua ei ole ollut alueella aiemmin, arvioidaan kuntopolun käyttötuntimäärät urheilukentän käyttötuntien mukaan. Kuntopolun käyttöajat ovat klo 6–22. Laskennassa oletetaan, että valaistuksen tarve sijoittuu klo 6–10 ja klo 15–22 väliselle ajalle, joka tarkoittaa, että keinovalon tarve päivässä on 11 tuntia. Kuntopolun valaistus on pois päältä kello 22–6. Tällöin kokonaiskäyttötunneiksi saadaan 3 003 tuntia vuodessa. Laskentaa varten verrataan kuntopolun energiakustannuksia himmennetyn valaistuksen ja ei himmennetyn valaistuksen välillä. Tilaajan kanssa on sovittu, että valaisimien luminanssitaso on ei aktiivisena aikana 10 %. Kokonaiskäyttötunneista oletetaan, että aktiivisia tunteja on noin 60 % eli 1 802 tuntia vuodessa. Kuntopolun energiakustannusten hintakehityksen vertailu on esitettyä kuvassa 29.



Kuva 29. Kuntopolun energiakustannusten hinnankehitys 30 vuoden aikana.

Taulukossa 15 on eriteltyä 30 vuoden elinkaaren aikana kertyvät energiakustannukset.

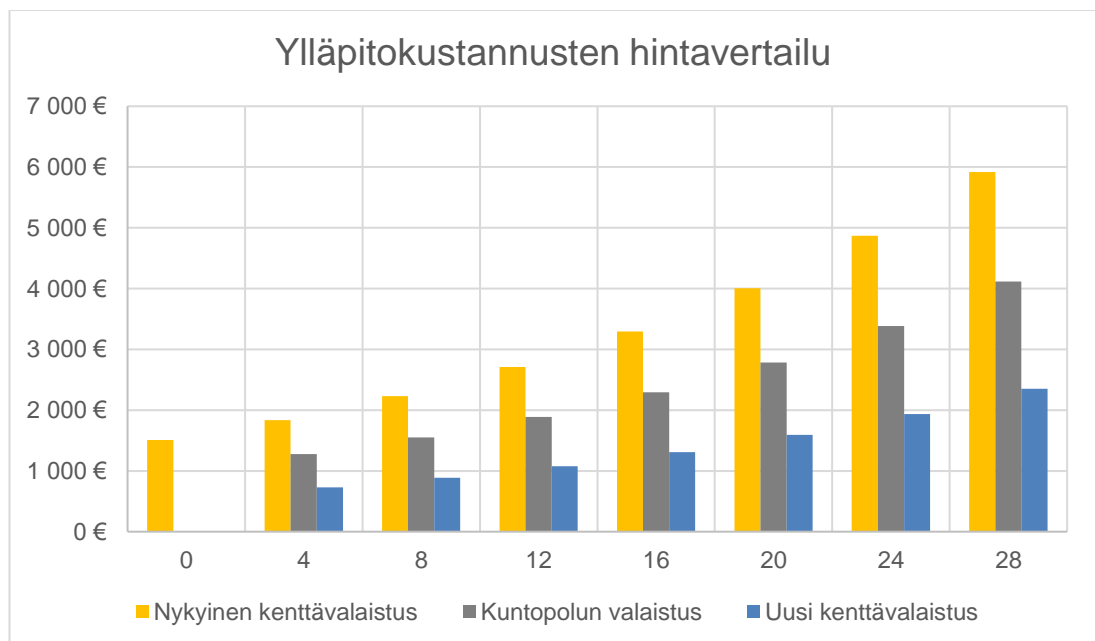
Taulukko 15. Energiakustannukset 30 vuoden aikana.

Valaistusasennus	Kustannus 30 vuoden aikana
Nykyinen kentänvalaistus	147 433 €
Kentän uusi valaistus – ilman CLO	96 099 €
Kentän uusi valaistus – CLO	86 172 €
Kuntopolun uusi valaistus – ei himmennetty	3 211 €
Kuntopolun uusi valaistus – himmennetty	2 055 €

Nykyiseen kentänvalaistukseen verrattuna säästöä 30 vuoden ajalta uudella valaistuksella ilman vakiovalovirtaohjausta kertyy 51 334 euroa. Verrattuna kenttävalaistukseen, jossa hyödynnetään CLO:ta, säästöä kertyy 61 261 euroa. Kuntopolulla kustannuseroa himmennuksen hyödyntämisessä kertyy 1 156 euroa.

6.3 Ylläpitokustannusten vertailu

Ylläpitokustannukset koostuvat huoltovälien eli neljän vuoden välein tehtävien pylväs- ja valaisinhuoltojen hinnoista sekä asentajan tuntihinnasta. Ledivalaisimien ylläpitokustannukset muodostuvat pääsääntöisesti valaisimien puhdistuksesta. Nykyiset suurpainenatriumlamput vaihdetaan huollon yhteydessä ja valaisimet puhdistetaan vedellä. Laskennassa arvioitiin yhden valaisimen huoltotyön kestoksi puolituntia. Asentajan ensimmäisen vuoden tuntihinnaksi arvioitiin 50 euroa ja laskentakorkona 5 %. Erään sähkökuliikkeen hinnastosta arvioitu yhden suurpainenatriumlampun hinta on 30 euroa. Hintojen laskentakorkona käytettiin 5 %:a. Laskennassa käytetty huoltoväli on neljä vuotta. Pylväskohtaiseksi huoltohinnaksi on arvioitu 50 euroa.



Kuva 30. Valaistuksen ylläpitokustannusten hintavertailu.

Nykyisen valaistuksen huoltojen hinnaksi kertyy 30 vuoden aikana noin 26 380 euroa. Uuden kenttävalaistuksen huoltojen hinnaksi samalta laskenta-ajalta kertyy noin 9 900 euroa. Kuntopolun valaistuksen huoltojen hinnaksi kertyy noin 17 300 euroa [kuva 30].

Oletetaan, että nykyinen kenttävalaistus huolletaan muun alueen rakennusurakan ohessa. Vakiovalovirtaohjaus ei vaikuta valaistuksen ylläpitokustannuksiin.

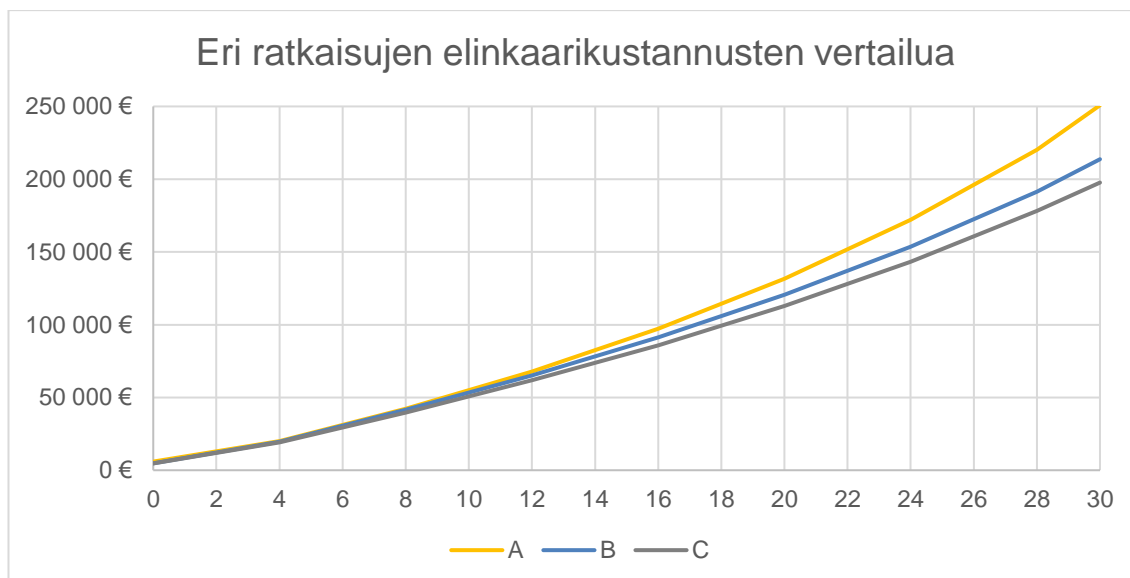
6.4 Elinkaarikustannusten vertailu

Elinkaaren aikana syntyvät kustannukset on esitetty taulukossa 16.

Taulukko 16. Elinkaarikustannusten vertailu 30 vuoden aikana.

	Rakennuskustannukset	Energiakustannukset	Ylläpitokustannukset	Elinkaarikustannukset
Nykyinen kenttävalaistus säilytetään	76 226 €	147 433 €	26 380 €	250 039 €
Kentän uusi valaistus – ilman CLO	106 526 €	96 099 €	9 882 €	212 507 €
Kentän uusi valaistus – CLO	110 726 €	86 172 €	9 882 €	206 780 €
Kuntopolun valaistus – ei himmennetty	-	3 211 €	17 300 €	20 511 €
Kuntopolun valaistus - himmennetty	-	2 055 €	17 300 €	19 355 €

Mikäli kentän valaistus uusitaan laskennassa käytetyllä valaisintyypillä, säästetään nykyiseen valaistukseen verrattuna 30 vuoden aikana kokonaiskustannuksissa 37 532 euroa. Mikäli kentän valaistus uusitaan vakiovalovirtaohjauksella varustetulla valaisintyypillä, säästetään nykyiseen valaistukseen verrattuna kokonaiskustannuksissa 30 vuoden aikana 43 359 euroa. Kuntopolun rakennuskustannuksia ei eritelty tässä työssä.



Kuva 31. Elinkaarikustannusten vertailua.

Kuvassa 31 on esitetty eri valaistusasennusten elinkaarikustannuksia 30 vuoden aikana. Skenaariossa A on nykyinen urheilukenttävalaistus ja uusi puistovalaistus liiketunnistimilla ohjattuna. Skenaariossa B on uudet lediheittimet ilman vakiovalovirtaohjausta ja uusi puistovalaistus ilman himmennystä. Skenaariossa C on esitetty uusi lediheitinvalaistus, jossa on vakiovalovirta-ohjaus ja uusi puistovalaistus liiketunnistimilla ohjattuna.

7 Yhteenveto

Söderkullan kohteessa valaistuksen uusiminen oli insinööriyön elinkaarilaskelmien perusteella kannattavaa ottaen huomioon Miilin alueen yleisen saneerauksen ja urheilualueen käytön monipuolistumisen vuoksi tehdyt muut sähköistyksen päivitykset. Lisäksi voidaan argumentoida urheilualueen esteettisyyden, miellyttävyyden ja houkuttelevuuden paranevan, kun huonon värinvalon ominaisuuden omaavat purkauslamput päivitetään moderniin valkoiseen ledivalaistukseen. Hankesuunnitteluvaiheessa uusien valaistusasennusten lopullisia kustannuksia on haasteellista verrata jo olemassa olevaan valaistusasennukseen. Pelkästään tämän insinööriyön kirjoituksen aikana markkinoille on ilmestynyt uusia kilpailukykyisiä ledivalaisimia ja nykyisten ledivalaisimien hinnat ovat laskeneet. Insinööriyössä saatiin kuitenkin havainnollistettua Söderkullan kentänvalaistuksen päivityksen hyödyt. On hyvä muistaa, että lähtökohtaisesti uusi asennus tulee aina

kalliimmaksi kuin vanhan ylläpitäminen, mikäli uusimiseen ei ole tarvetta. Mikäli insinööriyön laskelmissa olisi keskitytty ainoastaan valaisimen vaihtoon, kalliit lediheittimet eivät olisi olleet kilpailukykyisiä purkauslamppuihin nähden.

Kustannusten laskennan haasteeksi ilmeni kaikkien seikkojen huomioiminen esimerkiksi komponenttien vikaantuneisuus ja tuotevalmistajien takuuehdot. Lisäksi kaavojen löytäminen oli haastavaa, sillä monessa vanhemmassa valaistusteknisessä julkaisussa löytyi puutteellisuuksia muun muassa edellä mainittujen seikkojen huomioon ottamisessa sekä valaistuksen himmennuksen huomioimisessa. Sen vuoksi insinööriyössä laskettiin kustannuksia vuositasolla, jotka summattiin yhteen lopullisiin elinkaarikustannuksiin, ottaen huomioon laskentakorot ja elinkaaren erivaiheissa tapahtuvat kustannukset.

Valaistuksen suunnittelussa on tietenkin hyvä huomioida elinkaarenaikana syntyvät kustannukset, mutta ne eivät kerro välttämättä asennuksen tasosta. Entistä edullisempia, pitkäikäisempiä ja tehokkaampia ledivalaisimia on nykymarkkinoilla pilvin pimein, joten parhaan ratkaisun valitseminen kohteisiin korostuu. Lisäksi asiakkaat osaavat vaatia tasokasta valaistussuunnittelua ja energiatehokkaita, esteettisiä ja houkuttelevia valaistusratkaisuja. Elinkaariajatusmalli on elänyt pitkään valaistusalalla, joten olisin toivonut ehdiväni käsitellä enemmän ihmislähtöisen valaistussuunnittelun osa-aluetta. Insinööriyön laajuuden ja tehtävänannon vuoksi tähän ei tässä työssä paneuduttu. Vaikka ihmislähtöistä valaistussuunnittelua ei käsitelty tässä insinööriyössä, Söderkullan kohteen suunnittelu tehtiin tiiviissä yhteistyössä tilaajan Sipoon kunnan, käyttäjien ja FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy:n asiantuntija- ja suunnitteluryhmän kanssa. Sipoon kunnan toivomus energiataloudellisesta ja ympäristöystävällisestä urheilukenttä- ja liikunta-aluehankkeesta on toteutunut Söderkullan urheilukentän suunnittelukohteessa. Söderkullan urheilukentän ja liikunta-alueen uusi valaistus asennettiin talven 2018 ja alkuvuoden 2019 aikana [kuva 32].



Kuva 32. Söderkullan kentän uusi lediheitinvalaistus. Kuva FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy.

Käyttäjäkokemuksia ei keretty keräämään insinööriyöhön, sillä alue ei ole vielä yleisessä käytössä. Urheilukentän ja kuntopolun valaistus toteutettiin lopulta insinööriyössä käsitellyillä valaisimilla ja ohjaustratkaisuilla.

Lähteet

- 1 Miilin alueen rakennustyöt. 2018. Verkkoaineisto. Sipoon kunta. <<https://sipoora-kentaajakehittaa.fi/?p=755>>. Luettu 6.8.2018.
- 2 Valaistustekniikan perussuureet ja määritelmät. 2017. ST 57.40. Espoo. Sähkö-tieto ry.
- 3 Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu. 13.5.2015. Liikenneviraston ohjeita 16/2015. Helsinki. Väylävirasto.
- 4 Valonlähteet. 2018. ST 58.08. Espoo. Sähkötieto ry.
- 5 Luentokalvo. Valaistus ja energia. 2016. Tapio Kallasjoki. Helsinki.
- 6 Valaistuksen laskenta, mittaukset ja huolto. 1996. Helsinki. Suomen Sähköura-koitsijaliitto ry ja Suomen Valoteknillinen Seura ry.
- 7 Uusi valaistuskirja. 2010. Julkaisu 48. Viherympäristöliitto ry. Helsinki.
- 8 Ledien elinikä. 2017. Verkkoaineisto. Glamox Oy. <<https://glamox.com/fi/ledien-elinika1>>. Luettu 5.11.2018.
- 9 Taajamien maanteiden sekä jalankulku- ja pyörateiden valaistus. 2016. ST 58.10.01. Espoo. Sähkötieto ry.
- 10 SFS-EN: 12193:2018. Light and lighting - Sports lighting. 2018.
- 11 Kuntoreitti. 2006. RT 97-10869. Helsinki. Rakennustieto Oy. Rakennustietosäätiö RTS
- 12 Valonlähteiden säätö ja ohjaus. 2016. ST 58.31. Espoo. Sähkötieto ry.
- 13 C2-järjestelmän tuotekortti. Verkkoaineisto. C2 Smart Light Oy suunnittelijan tie-toportaali. Luettu 18.8.2018.
- 14 Ulkovalaistusverkon mitoitus. 2016. ST 58.25. Espoo. Sähkötieto ry.
- 15 InfraRYL 2006. Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset, Osa 2 Järjestelmät ja täydentävät osat. 2006. Helsinki. Rakennustietosäätiö RTS.
- 16 Valaisimien vastaavuus. Vertailutaulukon laadinta. 2018. ST 57.45.0. Espoo. Sähkötieto ry.

- 17 Tien valaisinpylväiden ja jalustojen laatuvaatimukset. 11.10.2010. Liikenneviraston ohjeita 14/2010. Helsinki. Väylävirasto.
- 18 Ulkoliikuntapaikkojen laatuluokitus ja elinkaarikustannusten arviointi. 2015. Helsinki. Opetus- ja kulttuuriministeriö ja Rakennustieto ry.
- 19 Tekonurmiopas. 2011. Helsinki. Opetus- ja kulttuuriministeriö ja Suomen Palloliitto ry.

Kuvat

Kuva 1. Miilin alue Söderkullassa. Ensimmäinen vaihe toteutetaan vuonna 2018–2019 ja toinen vaihe toteutetaan 2019–2020.	2
Kuva 2. Kuvankaappaus Google Maps–sovelluksesta. Otettu: 16.7.2018.	3
Kuva 3. Nykyiset valaisinmastot ja ryhmäkeskus. Kuva Sipoon kunta.	4
Kuva 4. Pukukoppialue ja huoltorakennus. Kuva FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy.	5
Kuva 5. Alueen yleissuunnitelma ja urakkaraja.	6
Kuva 6. Tyypillisen siniseen lediin pohjautuvan valkean ledin spektri. [5]	10
Kuva 7. Eri valonlähteiden valotehokkuuksien kehittyminen. [5]	11
Kuva 8. Hehkusäteilijän energiaspektri eri lämpötiloissa. [5]	13
Kuva 9. Philips Optivision gen 2-lediheittimen valovirranalenema.	16
Kuva 10. PA- ja TA -alueet. [10, s. 14]	22
Kuva 11. Väyläviraston (entinen Liikennevirasto) julkaisusta <i>Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu</i> . Jalankulku- ja pyöräteillä sekä muilla kevyen liikenteen alueilla käytettävät valaistusluokat.	26
Kuva 12. Esimerkki vakiovalovirran toiminnasta. Väyläviraston (entinen Liikennevirasto) julkaisusta <i>Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu</i>	29
Kuva 13. C2 LuconC–tukiasema, SmartLumo M 230 VAC.	31
Kuva 14. C2 SmartLight-painonappi, C2 SmartLight-liiketunnistin ja C2 SmartLumo M 230 VAC.	31
Kuva 15. Ulkovalaistusverkon maadoitukset $L \leq 200$ m. Havainnekuva.	37
Kuva 16. Pylväsjalustan DL^3 -mitan määrittäminen.	40
Kuva 17. Erikokoisten pylväiden aiheuttama kaatava momentti ja sen edellyttämä jalustalta vaadittava DL^3 -mitta yksikössä m^4 . (<i>InfraRYL 2018/1</i>)	41
Kuva 18. Ennuste ledien hinnankehityksestä. Lähde: <i>DOE SSL Roundtable and Workshop attendees 2013</i>	47
Kuva 19. Espoossa sijaitsevan Säteriinniityn kentän valaistus on toteutettu Philips Optivision LED gen2 -valonheittimillä.	48
Kuva 20. Säteriinniityn monitoimikenttä.	49
Kuva 21. Söderkullan urheilukentän sähkösuunnitelma.	51
Kuva 22. Kuvankaappaus Dialux–valaistuslaskentaohjelmasta.	52
Kuva 23. Kuvankaappaus urheilukentän Dialux–ohjelman valaistuslaskennan tuloksista.	53
Kuva 24. Kuvankaappaus Dialux –ohjelman valaistuslaskennan tuloksista.	53

Kuva 25. Skeittipaikan ja urheilukentän painonappi ja infotaulut. Kuva FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy.	54
Kuva 26. Söderkullan kentän varaustuntien lukumäärä vuosina 2009–2016.	56
Kuva 27. Kokoalueen rakennuskustannukset hankkeen alussa.	57
Kuva 28. Urheilukentän energiakustannusten hinnankehitys 30 vuoden aikana.	58
Kuva 29. Kuntopolun energiakustannusten hinnankehitys 30 vuoden aikana.	59
Kuva 30. Valaistuksen ylläpitokustannusten hintavertailu.	60
Kuva 31. Elinkaarikustannusten vertailua.	62
Kuva 32. Söderkullan kentän uusi lediheitinvalaistus. Kuva FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy.	64

Taulukot

Taulukko 1. Lamppujen keskimääräisiä ominaisuuksia [4].	12
Taulukko 2. IK-luokitusta vastaavat iskuenergiat.....	18
Taulukko 3. IP-kotelointiluokat.	19
Taulukko 4. Sähkösuojausluokat.	19
Taulukko 5. Alenemakertoimet valonlähdetyyteittäin kotelointiluokan ollessa vähintään IP65. [9, s.4] 21	21
Taulukko 6. Jalkapallon ja amerikkalaisen jalkapallon lajikohtainen valaistusvaatimus. [10, s. 42] 23	23
Taulukko 7. Alueluokituksen enimmäisarvoja. [10, s. 20]	24
Taulukko 8. Skeittialueiden valaistusvaatimus. [10, s. 46].....	24
Taulukko 9. Väyläviraston (entinen Liikennevirasto) julkaisusta <i>Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu</i> . P-luokat. Suluissa on esitetty vuoden 2006 valaistusohjeen vastaavat K-luokat.	25
Taulukko 10. Juoksun ja hiihdon lajikohtaiset valaistusvaatimukset. [10, s. 41].....	26
Taulukko 11. Säterinniityn kentän valaistustilanteet.	49
Taulukko 12. Urheilukentän valonheittimien käyttöaika ja himmennysprofiili.	55
Taulukko 13. Nykyisen kenttävalaistusasennuksen ja suunnitellun valaistuksen vertailutaulukko.....	56
Taulukko 14. Urheilukentän arvioidut käyttöajat ja –ajankohdat vuodessa.	58
Taulukko 15. Energiakustannukset 30 vuoden aikana.....	59
Taulukko 16. Elinkaarikustannusten vertailu 30 vuoden aikana.....	61

SÖDERKULLAN URHEILUKENTTÄ

VALAISTUSLASKELMA

Projektinnumero: P33778-704

Päivämäärä: 29.03.2018

Tekijä: Niko Kivioja/Alexander Maltusch

SÖDERKULLAN URHEILUKENTTÄ

29.03.2018

Tekijä Niko Kivioja/Alexander Maltusch



Sisällysluettelo

SÖDERKULLAN URHEILUKENTTÄ

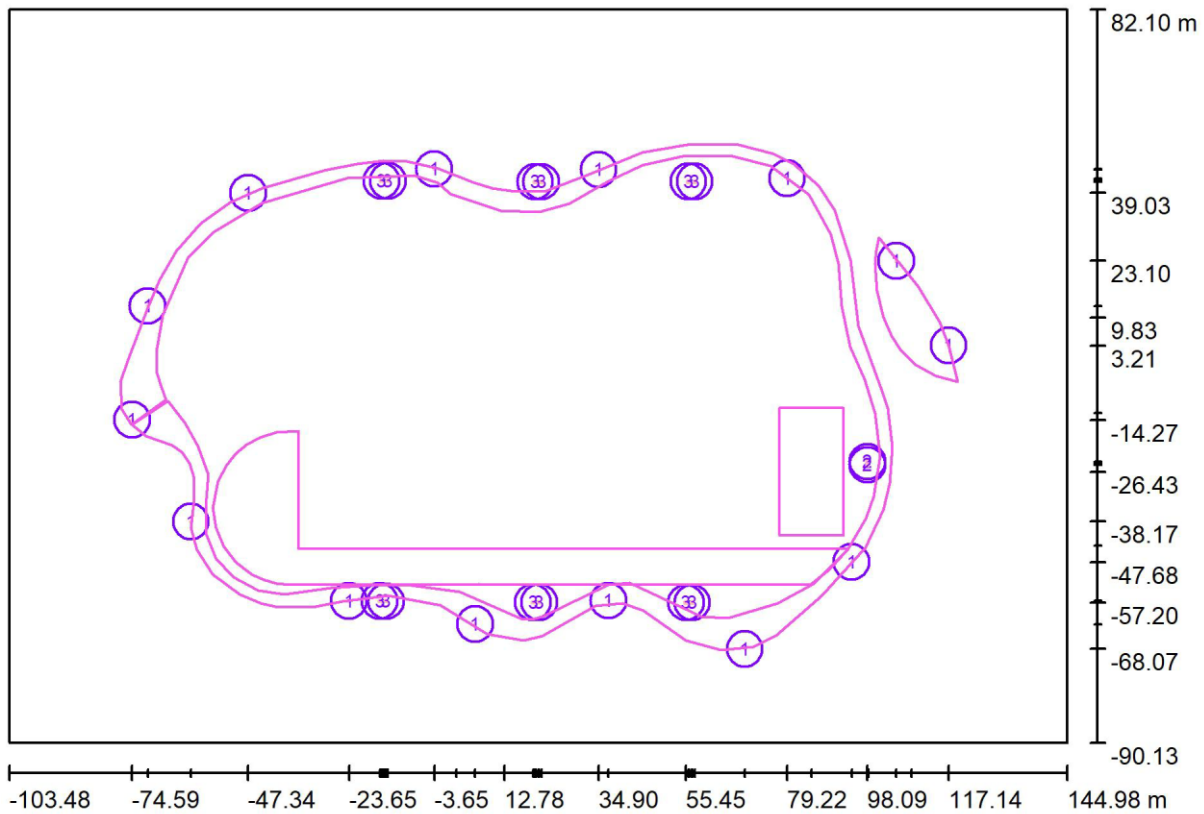
Projektin etusivu	1
Sisällysluettelo	2
Ulkotilanne	
Valaistustilanteet: Kaikki 100 % - Suunnittelutiedot	3
GR-katsoja (yleiskuva tuloksista)	4
Kolmiulotteinen kuvanmuodostus	5
Vääräväri-kuvanmuodostus	6
Ulkopinnat	
LaskelmaJalkapallokenttä 1-laskentataulukko (PA)	
Isolux-käyrät (E, kohtisuora)	7
Mittauspöytäkirja (E, kohtisuora)	8
Kevari/reitti	
Suunnittelutiedot	9
Valaistustekniset tulokset	10



29.03.2018

Tekijä Niko Kivioja/Alexander Maltusch

Ulkotilanne 1 / Kaikki 100 % / Suunnittelutiedot



Huoltokerroin: 0.90, ULR (Upward Light Ratio): 2.0%

Mittakaava 1:1777

Luettelo valaisimista

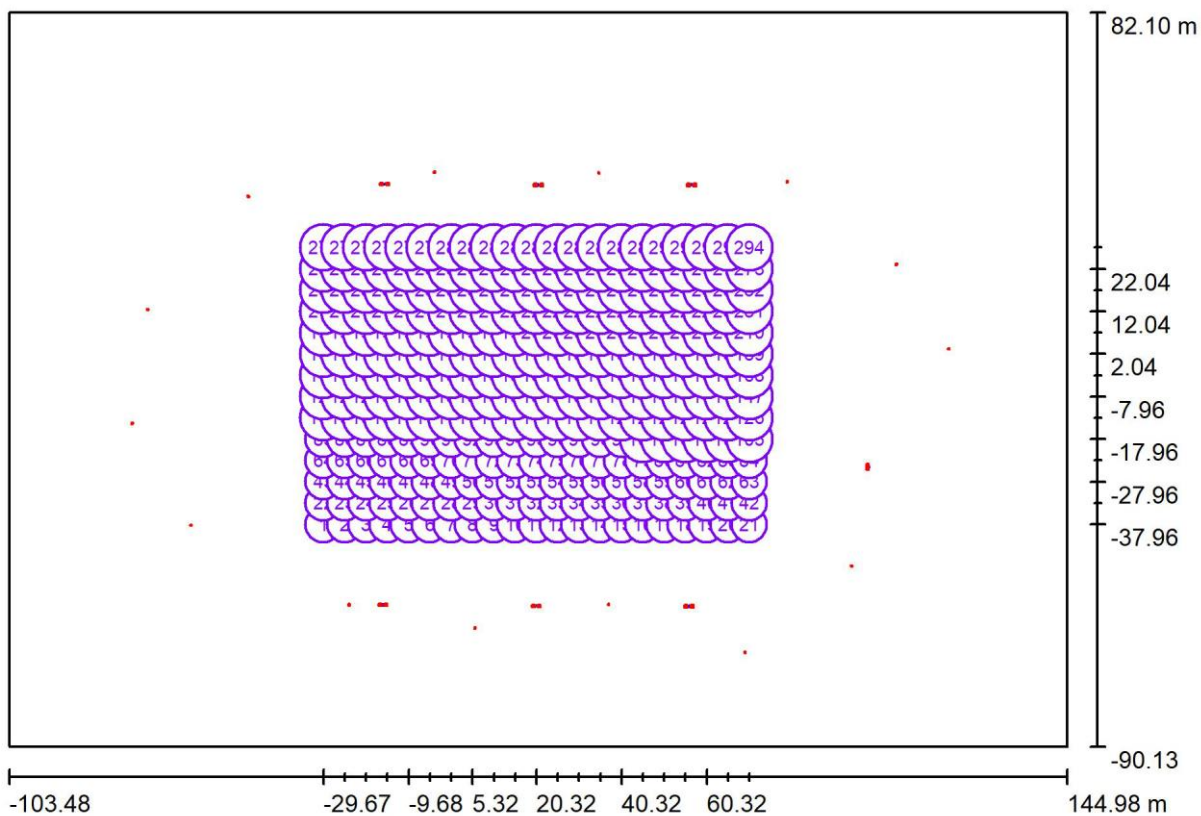
Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	F (Valaisin) [lm]	F (Lamput) [lm]	P [W]
1	14	AEC ILLUMINAZIONE SRL MOD 2.0 URBAN 0F3 STE-M 4.7-1M MOD 2.0 URBAN 0F3 STE-M 4.7-1M (1.000)	3270 25764	3270 29000	28.0 233.0
2	2	PHILIPS BVP650 G2 29K OFA52 ECO/- No (1.00)			
3	12	PHILIPS OptiVision LED BVP525 OUT T15 100K 1xLED1940/757A-NB/30 (1.000)	154820	193535	1471.0

Yhteensä: 1955147

Yhteensä:
2426080 18510.0



Ulkotilanne 1 / Kaikki 100 % / GR-katsoja (yleiskuva tuloksista)



Mittakaava 1 : 1777

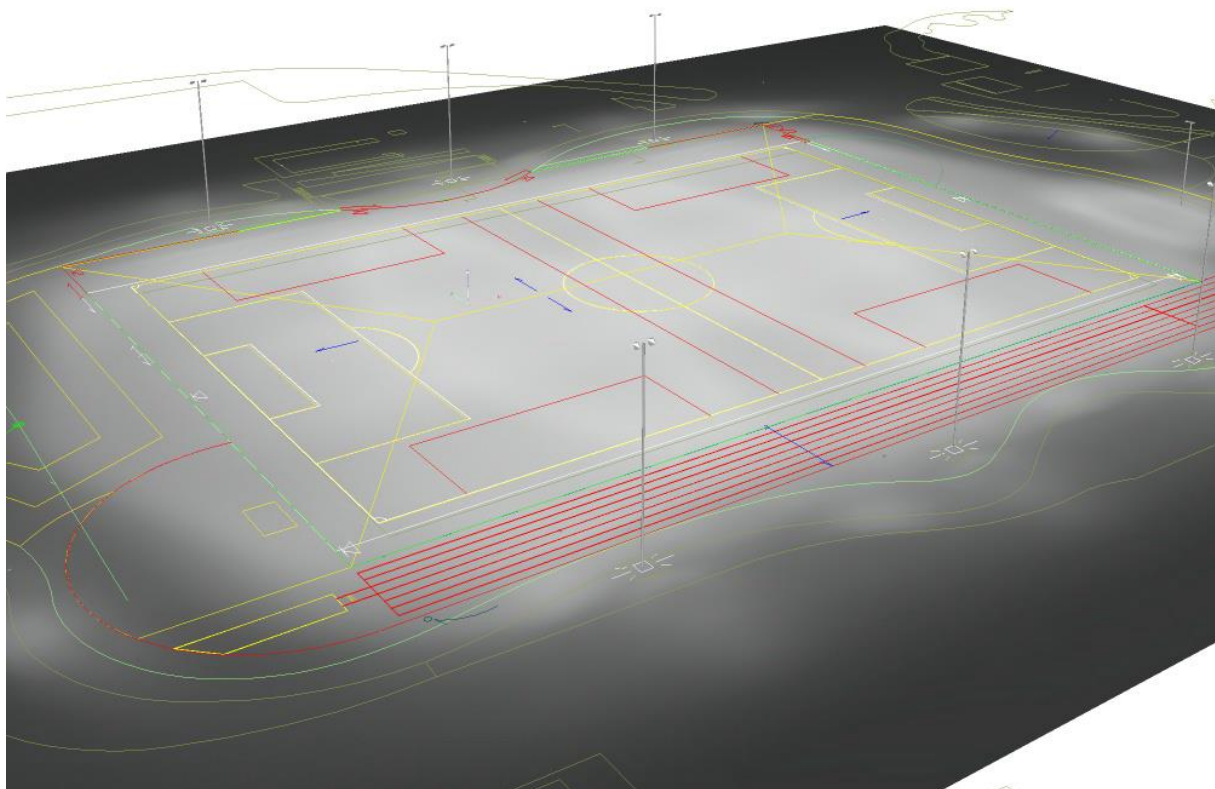
GR -laskelmapisteluettelo

GR keskiarvoksi saatiin alle 50.

SÖDERKULLAN URHEILUKENTTÄ

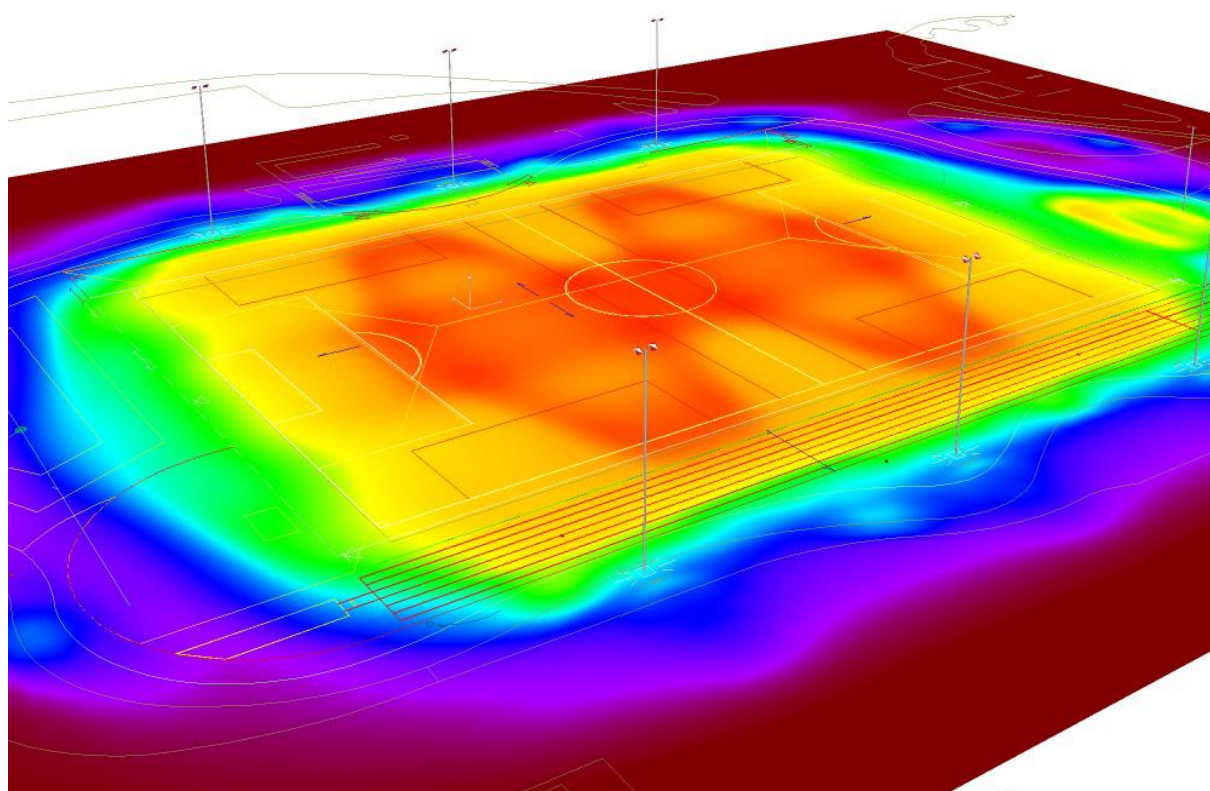
Tekijä Niko Kivioja/Alexander Maltusch

Ulkotilanne 1 / Kaikki 100 % / Kolmiulotteinen kuvanmuodostus





Ulkotilanne 1 / Kaikki 100 % / Vääräväri-kuvanmuodostus

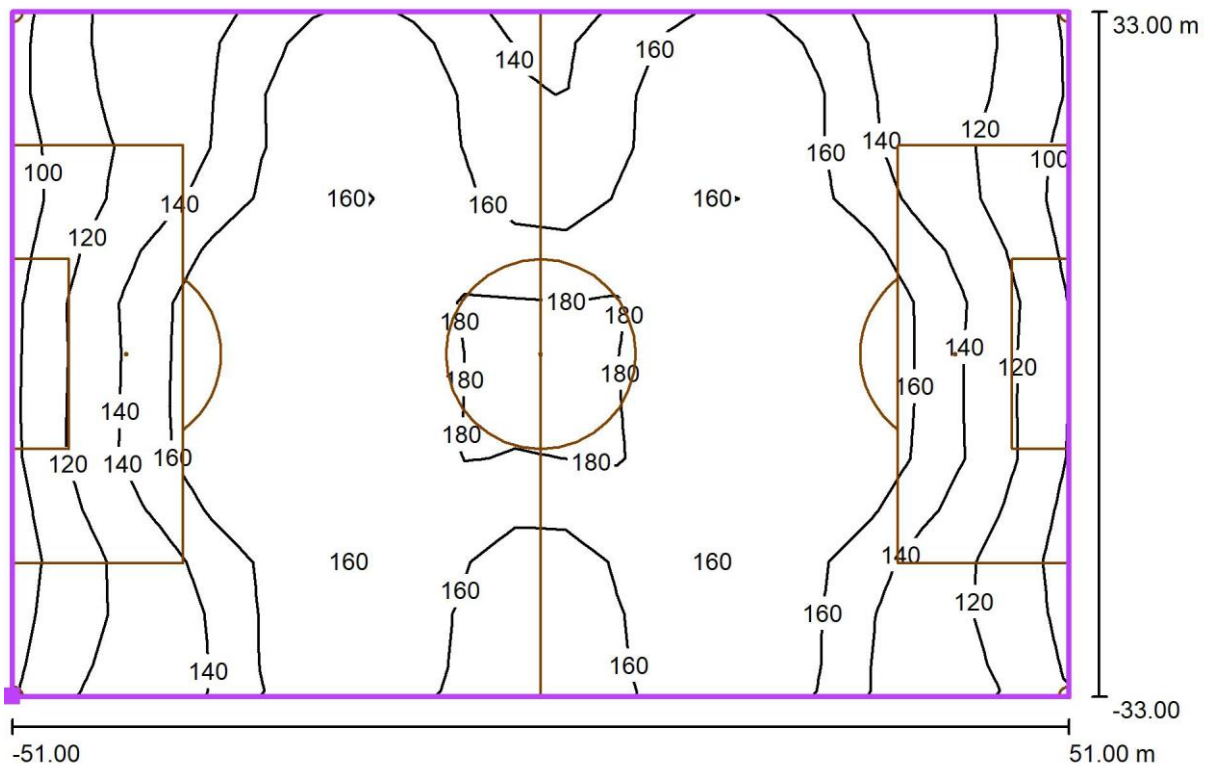


1 5 20 50 75 100 150 200 300 lx

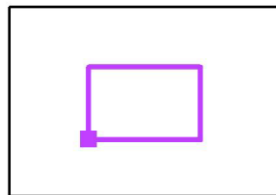
SÖDERKULLAN URHEILUKENTTÄ

Tekijä Niko Kivioja/Alexander Maltusch

Ulkotilanne 1 / Kaikki 100 % / LaskelmaJalkapallokenttä 1-laskentataulukko (PA) / Isolux-käyrät (E, kohtisuora)



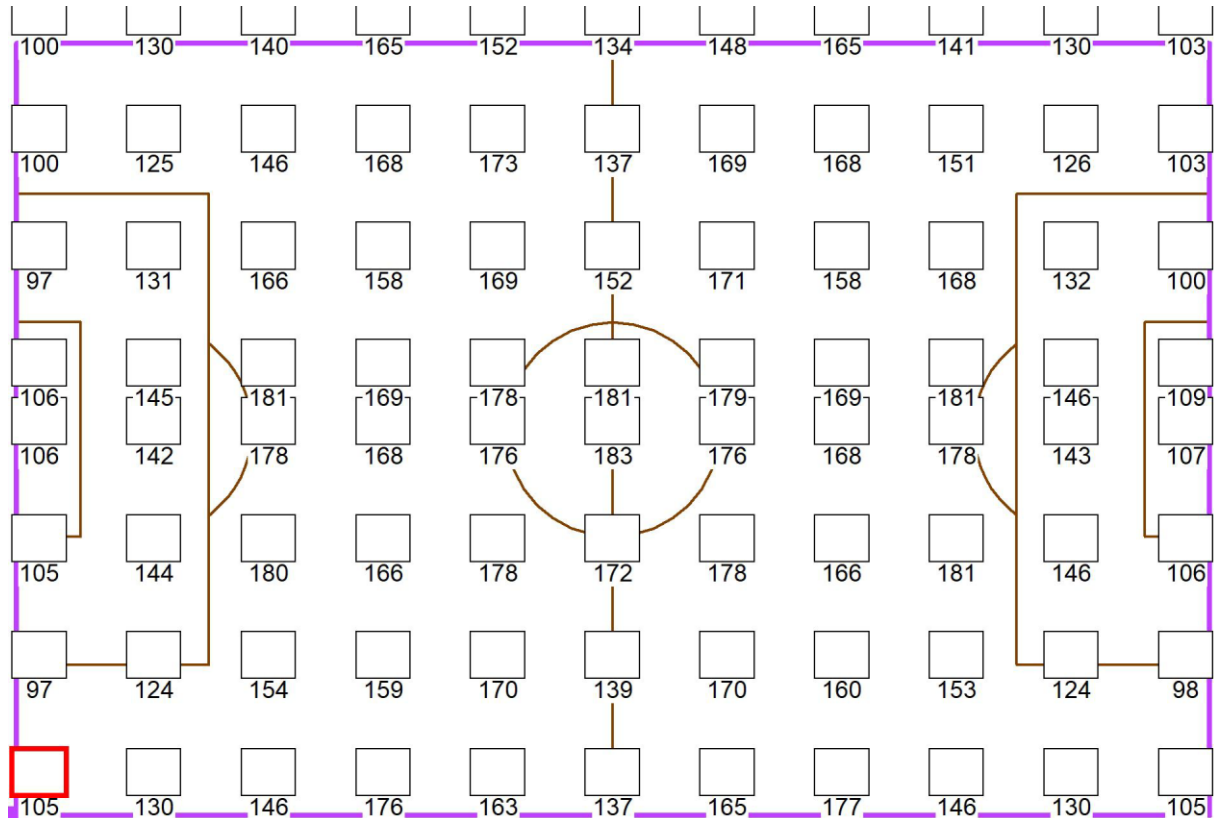
Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1 : 730
Pinnan sijainti ulkotilanteessa: Merkitty piste: (-30.675 m, -38.463 m, 0.000 m)



Rasteri: 21 x 14 Pisteet

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
150	95	185	0.63	0.52

Ulkotilanne 1 / Kaikki 100 % / LaskelmaJalkapallokenttä 1-laskentataulukko (PA) / Mittauspöytäkirja (E, kohtisuora)



Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1 : 647

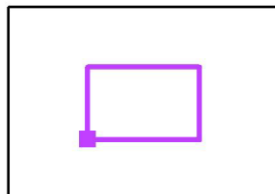
Mittauspisteiden lukumäärä: 11 x 8

Ensimmäinen mittauspiste (Korostettu kaaviossa): (2.450 m, 2.500 m)

Mittauspisteiden etäisyys X:llä: 9.800 m, Mittauspisteiden etäisyys Y:llä: 10.000 m Mittaus tapahtuu symmetrisesti kaikista 4 kulmasta keskelle päin.

Pinnan sijainti ulkotilanteessa:

Merkitty piste: (-30.675 m, -38.463 m, 0.000 m)



29.03.2018

Tekijä Niko Kivioja/Alexander Maltusch

Kevari/reitti / Suunnittelutiedot

Tien profiili

Viherkaista 1

(Leveys: 1.000 m)

Jalkakäytävä 1

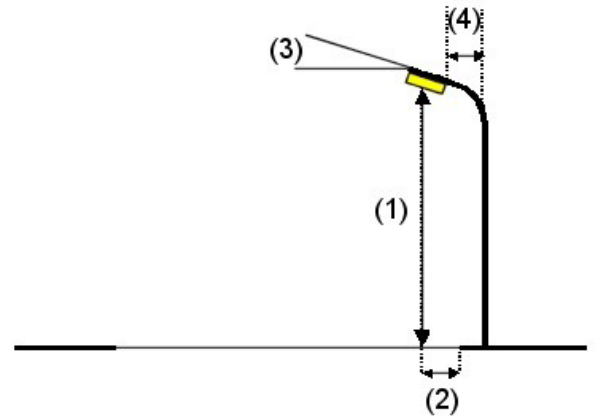
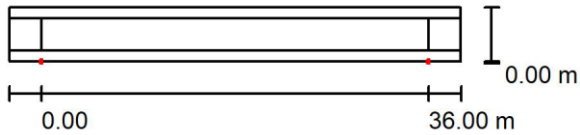
(Leveys: 3.000 m)

Viherkaista 2

(Leveys: 1.000 m)

Huoltokerroin: 0.80

Valaisinjärjestykset



Valaisin: AEC ILLUMINAZIONE SRL MOD 2.0 URBAN 0F3 STE-M 4.7-1M MOD 2.0

Valovirta (Valaisin):	3270 lm
Valovirta (Lamput):	3270 lm
Valaisimien teho:	28.0 W
Järjestely:	yksipuolisesti alapuolella
Katuvalojen väli:	36.000 m
Asennuskorkeus (1):	6.000 m
Valopisteen korkeus:	5.920 m
Etäisyys tien reunaan (2):	0.000 m
Poikkivarren kallistuma (3):	0.0 °
Poikkivarren pituus (4):	0.000 m

Valovoiman enimmäisarvot tapauksessa	
70° :	497 cd/klm
tapauksessa	57
80° :	cd/klm
tapauksessa	0.00
90° :	cd/klm

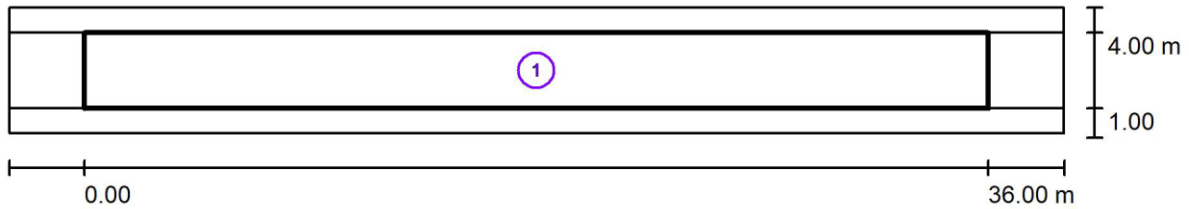
Kaikkiin niihin suuntiin, jotka muodostavat ilmoitetun kulman alemman pystysuoran kanssa, kun valaisin on asennettu käyttökuntoon.

Valovoiman arvot eivät ylitä arvoa 90° .

Sijoittelu täyttää valovoimaluokan vaatimukset G4.

Sijoittelu täyttää häikäisyarvoluokan vaatimukset D.4.

Kevari/reitti / Valaistustekniset tulokset



Huoltokerroin: 0.80

Mittakaava 1:301

Arviointikenttien luettelo

1 Arviointikenttä Jalkakäytävä 1

Pituus: 36.000 m, Leveys: 3.000 m

(Kaikki fotometriset vaatimukset täytetty.)

Rasteri: 12 x 3 Pisteet

Sijoitetut tie-elementit: Jalkakäytävä 1.

Valittu valaistusluokka: SS

Lasketut tosiarvot:

Täytetty/ei täytetty:

E_M [lx]

8.15

≥ 7.50



E_{min} [lx]

1.68

≥ 1.50



