



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Risto Sorri

ActiveAhead – itseoppivan valaistuksen ohjausjärjestelmän vaikutukset energiankulutukseen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

30.10.2019

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Risto Sorri ActiveAhead – itseoppivan valaistuksen ohjausjärjestelmän vaikutukset energiankulutukseen 30 sivua + 1 liite 30.10.2019
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Ammatillinen pääaine	sähköinen talotekniikka
Ohjaajat	myynti- ja kehityspäällikkö Måns Paul lehtori Matti Sundgren
<p>Insinööriyön tavoitteena oli saada aikaisempien arvioiden sijaan tutkittua tietoa itseoppivan ActiveAhead-ohjausjärjestelmän vaikutuksesta valaistuksen energiankulutukseen. Tutkimuskohteena toimi parkkihalli, johon ActiveAhead-järjestelmää käyttävät valaisimet oli asennettu hiljattain.</p> <p>Menetelminä työssä käytettiin tiedonkeruuta valaisimien liitännälaitteista sekä valaisimien toisilleen Bluetooth-verkossa lähettämistä viesteistä. Tietoja kerättiin useana eri ajankohdana, jotta esimerkiksi lomakauden vaikutus energiankulutukseen saatiin selvitettyä. Kerätyt tiedot analysoitiin ja vertailtiin keskenään, jolloin myös tietojen oikeellisuus tuli varmistettua. Tuloksia peilattiin parkkihallin valaistuksen saneerausta varten tehtyihin arvioihin ja vaihtoehtoihin. Insinööriyössä simuloitiin myös valotasojen ja päälläoloaikojen vaikutuksia valaisimen energiankulutukseen.</p> <p>Tutkimus osoitti, että ActiveAhead-järjestelmä säästää energiaa hyvin paljon. Tutkimuskohteessa energiankulutus oli noin kahdeksasosa vanhaan loisteputkivalaistukseen verrattuna. Vanhalla kellokytkimellä ohjattaessa tavalliset LED-valaisimet kuluttaisivat yli kolminkertaisesti sähköä verrattuna ActiveAheadilla varustettuihin valaisimiin.</p> <p>Työn avulla saatiin tutkittua tietoa ActiveAheadin energiankulutuksesta oikeassa käyttökohteessa. Tuloksia voidaan soveltaa suuntaa antavasti muihinkin kohteisiin. Lisäksi simuloinnin avulla kootuista taulukoista pystytään katsomaan, paljonko valaisimen energiankulutus muuttuu, jos parametreja muutetaan. Tätä tietoa voidaan käyttää energiankulutuksen optimoimiseen.</p>	
Avainsanat	ActiveAhead, itseoppivuus, energiankulutus

Author Title Number of Pages Date	Risto Sorri Effect of ActiveAhead Self-Learning Lighting Control System on Energy Consumption 30 pages + 1 appendix 30 November 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Professional Major	Electrical Building Services
Instructors	Måns Paul, Sales and Development Manager Matti Sundgren, Senior Lecturer
<p>The aim of this final year project was to study the effects of a self-learning lighting control system called ActiveAhead on energy consumption. The research was made in a parking garage where old fluorescent lamps were newly replaced with ActiveAhead ones.</p> <p>The methods used in the project were gathering data and analysing them. Data were gathered from LED drivers of the luminaires and from the messages sent by the luminaires to each other in the Bluetooth mesh network. Furthermore, simulations were used to establish the effects of altering light levels and timeouts on energy consumption.</p> <p>The project showed that ActiveAhead saves a lot of energy. Compared to the old lighting system, the consumption dropped to almost one eighth of the previous. The results of the project can be used as a basis for the design of an ActiveAhead system to different buildings and situations. The tables made in the simulation are also useful for optimising the consumption of energy.</p>	
Keywords	ActiveAhead, self-learning, energy consumption

Sisällys

Lyhenteet ja käsitteet

1	Johdanto	1
2	Langaton teknologia	2
2.1	Bluetooth	2
2.2	Mesh	2
3	ActiveAhead	4
3.1	Tuotteet	4
3.2	Toimintaperiaate	7
4	Taustatietoa valaistuksesta	9
5	ActiveAhead-valaistuksen energiankulutus	13
5.1	Standardin asettamat rajoitukset valotasolle	13
5.2	Energiankulutuksen selvittäminen	15
5.3	Lomakauden energiankulutus	17
5.4	Yleisvalon lisäämisen vaikutus energiankulutukseen	19
5.5	Valotasojen ja viiveaikojen vaikutus energiankulutukseen	21
5.6	Kokonaiskulutus	26
6	Yhteenveto	28
	Lähteet	29
	Liitteet	
	Liite 1. Parametrien vaikutus energiankulutukseen	

Lyhenteet ja käsitteet

BLE Bluetooth Low Energy. Vähävirtainen langaton verkkotekniikka.

CU Control Unit. ActiveAhead-valaisimen ohjainyksikkö.

CUDA Control Unit DALI. ActiveAhead-valaisimen ohjainyksikkö DALI-liitäntälaitteita varten.

DALI Digital Addressable Lighting Interface. Standardoitu digitaalinen valaistuksen ohjausprotokolla.

Energiansäästövalotaso

Valotaso, jolla valaisin on läsnäolovalotason jälkeen siirtymisajan verran.

Kuristin Loisteputkivalaisimissa käytetty virranrajoitin.

Läsnäolovalotaso

Valotaso, jolla valaisin on läsnäoloviiveen ajan liiketunnistimen havaittua liikkeen.

Läsnäoloviive

Aika, jonka valaisin pysyy läsnäolovalotasolla viimeisen liikehavainnon jälkeen.

Minimivalotaso

Valotaso, jolla valaisin on energiansäästövalotason jälkeen.

Siirtymäaika

Aika, jonka valaisin on energiansäästötasolla.

1 Johdanto

Valaistuksen ohjaukseen on viime vuosina tullut uutena langaton teknologia. Helvar Oy Ab on vienyt ohjausta vielä pidemmälle itseoppivalla ActiveAhead-järjestelmällään. Se perustuu valaisimessa olevaan pieneen mikroprosessoriin ja liiketunnistimeen sekä algoritmiin, joka käsittelee liiketunnistimen havaintoja ja muiden valaisimien lähettämiä tietoja. Järjestelmän vaikutuksesta energiankulutukseen on ollut arvioita, mutta sitä ei ole selvitetty sen tarkemmin. Insinööriyön tavoitteena on tutkia Helvarin ActiveAhead-valaistuksenohjausjärjestelmää energiankulutuksen ja mahdollisten säästöjen kannalta.

Tutkimuskohteena toimii Helvarin pääkonttorin parkkihalli, johon on asennettu tammi-kuussa 2019 ActiveAhead-valaisimet. Itse olin ensimmäistä kertaa mukana projektissa asentamassa uusia valaisimia vanhojen tilalle. Sen jälkeen Helvarilta annettiin insinööri-työlle aiheeksi tutkia parkkihallin todellista energiankulutusta. En siis ole ollut mukana suunnittelemassa valaistuksen uusimista. Järjestelmä on ollut minulle jo kuitenkin entuudestaan tuttu töiden kautta. Insinööriyön menetelminä ovat tiedonkeruu järjestelmän valaisimien tekemistä havainnoista ja tallentamasta datasta sekä niiden analysointi.

Työn tilaajana on Helvar Oy Ab, joka on perustettu vuonna 1921. Valaistusalalta Helvarilla on kokemusta jo 1940-luvun lopulta, jolloin se alkoi valmistamaan kuristimia sekä kontaktoreita. Kuristimia käytettiin rajoittamaan virtaa loisteputkivalaisimissa ja kontaktoreita sähkömekaanisina kytkiminä valaistusryhmien päälle- ja poiskytkemiseen. Helvar on ollut mukana kehittämässä valaistuksen ohjauksessa hyvin yleisesti käytettyä DALI-standardia (Digital Addressable Lighting Interface) 1990-luvun loppupuolella. Nykyään älykkäät ja energiatehokkaat komponentit ovat merkittäviä Helvarille kuin myös muillekin. Erityisesti energiansäästö on hyvin ajankohtaista ympäristön kannalta. Myös taloudellisesti saavutetut säästöt ovat tärkeitä. Tämän työn avulla Helvar saa konkreettista tietoa ActiveAhead-järjestelmän energiankulutuksesta ja sen optimoinnista.

2 Langaton teknologia

2.1 Bluetooth

Bluetooth on 2,4 GHz:n lisensoimattomalla ISM-taajuusalueella (Industrial, Scientific, Medical) toimiva radioteknologia. Bluetooth perustuu taajuushyppelyyn (Frequency Hopping Spread Spectrum), jossa dataa lähettävää kanavaa vaihdetaan jatkuvasti. Itse datan lähetys tapahtuu signaalin taajuutta muuttavalla GFSK-modulaatiolla (Gaussian Frequency Shift Keying). [1]

Bluetooth on jaettu kahteen eri radioversioon. Ne ovat nimeltään Bluetooth Basic Rate/Enhanced Data Rate (BR/EDR) ja Bluetooth Low Energy (LE). Jälkimmäisestä voidaan käyttää myös lyhennettä BLE, kuten tässä työssä tullaan käyttämään. [1]

BLE on tarkoitettu nimensä mukaisesti vähävirtaisiin laitteisiin. Energiankulutusta on pyritty optimoimaan muun muassa erilaisella tavalla lähettää dataa. Bluetooth BR/EDR lähettää jatkuvasti dataa, kun puolestaan BLE lähettää datan lyhyinä purkauksina. Tällä tavoin BLE kuluttaa lähettäessään huomattavasti vähemmän energiaa. [1]

Versiot eroavat myös muulla tavoin. Tavallisessa Bluetoothissa on käytössä 79 kanavaa, ja kaistanleveys on 1 MHz. BLEssä kanavia on 40, ja kaistanleveytenä on 2 MHz. Bluetooth BR/EDR mahdollistaa BLEstä poiketen myös GFSK-moduloinnin lisäksi $\pi/4$ DQPSK- ja 8DPSK-moduloinnit. Merkittävä ero on myös versioiden tukemissa topologioissa. Bluetooth BR/EDR tukee vain päästä päähän -yhteyttä ja piconetiä. BLE:n tukemiin topologioihin lukeutuu edellisten lisäksi myös broadcast ja mesh. [1]

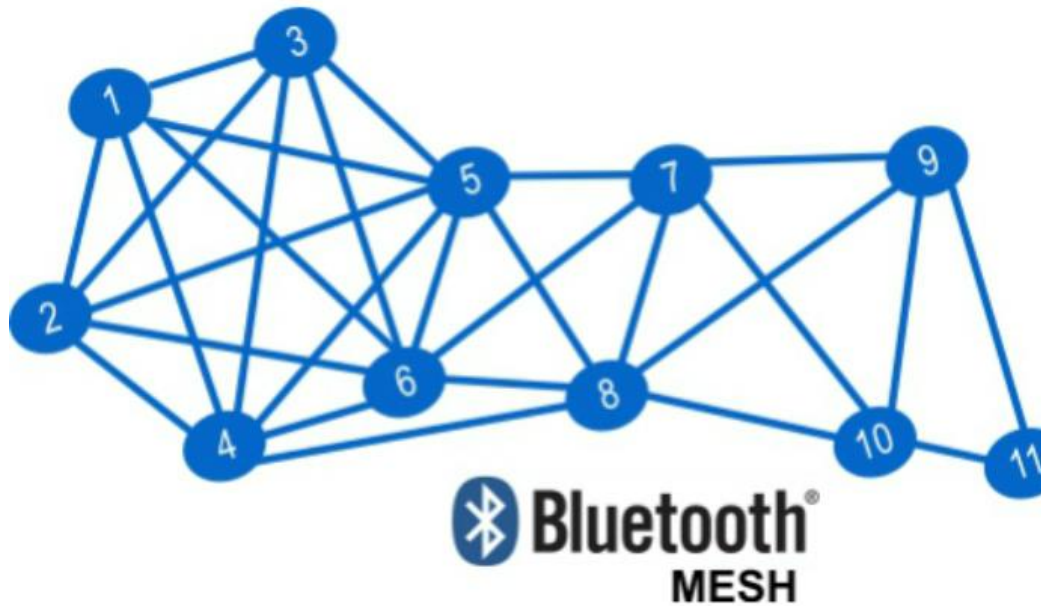
2.2 Mesh

Mesh on verkkotopologia, jossa jokainen verkossa oleva solmu (node) osallistuu viestien lähettämiseen eteenpäin. Viestien toistamiseen verkossa voidaan käyttää kahta eri tekniikkaa: reitittäminen (routing) ja tulviminen (flooding). Reitittävässä mesh-verkossa on erillisiä reitittämiä, jotka ohjaavat viestin tiettyä polkua pitkin oikealle solmulle. Erilliset reitittimet kuitenkin laskevat verkon luotettavuutta kasvattamalla yksittäisen laitteen

hajoamisesta aiheutuvaa haittaa verkolle. Tulvimisessa puolestaan jokainen solmu lähettää saamansa viestin eteenpäin kaikille ympärillä oleville solmuille. Vaikka yksittäinen laite välistä hajoaisikin, ympärillä olevat solmut lähettäisivät viestin eteenpäin. Isoissa mesh-verkoissa on mahdollista monenkin solmun hajota, ilman vaikutusta verkon toimintaan. [2]

Bluetooth käyttää tulvimisesta olevaa erityistä versiota, hallittua tulvimista. Se hyödyntää tulvimisen hyviä puolia, mutta optimoidusti. Tärkeä ominaisuus hallitussa tulvimisessa on TTL (Time To Leave). Se on luku, jolla voidaan hallita, kuinka kauan saman viestin toistamista solmulta toiselle jatketaan. Viestin toistamista toiselle kutsutaan hypyksi (hop). Esimerkiksi TTL arvolla 10 tarkoittaisi, että viestiä toistetaan 10 hypyn päähän. Jokaisella hypyllä tuota arvoa vähennetään yhdellä. Näin saadaan hallittua verkossa kulkevien viestien määrää, ettei sama viesti etenisi verkossa turhan kauan ja kuormittaisi verkkoa. Toinen optimointiin käytetty ominaisuus on viestien välimuisti (message cache). Solmut tallentavat viimeisimmät saamansa viestit, ja jos sama viesti saapuu uudelleen, sitä ei enää lähetetä eteenpäin. Näin eri reittejä saapuva viesti tulee lähetettyä solmulta vain kerran. [2]

Kuva 1 havainnollistaa hyvin Bluetooth meshiä. Siinä on useita solmuja, jotka ovat yhteydessä toisiinsa. Viesti solmulta 1 voisi kulkea solmulle 11 esimerkiksi seuraavia reittejä pitkin: 1-6-8-9-11 ja 1-2-5-8-7-10-11. Eri vaihtoehtoja on lukuisia. Kuvan avulla on helppo ymmärtää, miksi yksittäisen solmun hajoaminen ei haittaisi verkon toimintaa. Jos molemmissa esimerkkipoluissa oleva solmu 8 hajoaisi, viesti voisi mennä reittiä 1-6-7-9-11 pitkin.



Kuva 1. Mesh-verkon rakenne [3].

3 ActiveAhead

3.1 Tuotteet

ActiveAhead Control Unit ja ActiveAhead-yhteensopiva LED-liitântälaite

ActiveAhead Control Unit (CU) on järjestelmän tärkein komponentti, joka näkyy kuvassa 2. Se sisältää algoritmin, joka käyttää liitetyn sensorin ja muiden CU:iden lähettämää dataa oppiakseen ja ennakoidakseen käyttäjien liikkeitä. Control Unit keskustelelee muiden CU:iden kanssa käyttäen BLE-verkkotekniikkaa. Laitteen parametreja kuten päälläoloaikoja, valotasoa ja mahdollisia ryhmittelyitä on mahdollista muuttaa käyttäen ActiveAhead-kännykkäsovellusta. Control Unit vaatii toimiakseen ActiveAhead-yhteensopivan LED-liitântälaitteen. [4]



Kuva 2. ActiveAhead Control Unit [5].

ActiveAhead Control Unit DALI

ActiveAhead Control Unit DALI (CUDA) on vastaava kuin tavallinen Control Unit, mutta se on yhteensopiva kaikkien DALI-liitäntälaitteiden kanssa. Näin ollen se ei tarvitse ActiveAhead-yhteensopivaa liitäntälaitetta ja mahdollistaa 1–4 valaisimen kytkemisen samaan CUDAan. Kuitenkin kokonaisuudessa voi olla vain yksi sensori, joka rajoittaa kuinka etäällä olevia valaisimia kannattaa kytkeä saman CUDA:n taakse. Kuvassa 3 olevan CUDA:n vasemmalle puolelle kytketään verkkovirta ja oikealle puolelle kytketään DALI sekä sensori. Molemmissa päissä on liittimet kahdelle kytkennälle, joten CUDAsta on mahdollista ketjuttaa verkkovirta eteenpäin ja kytkeä suoraan kaksi DALI-laitetta kiinni. CU:n tapaan antenni sijaitsee CUDA:ssa. [6]



Kuva 3. ActiveAhead Control Unit DALI [6].

Active+ Sense

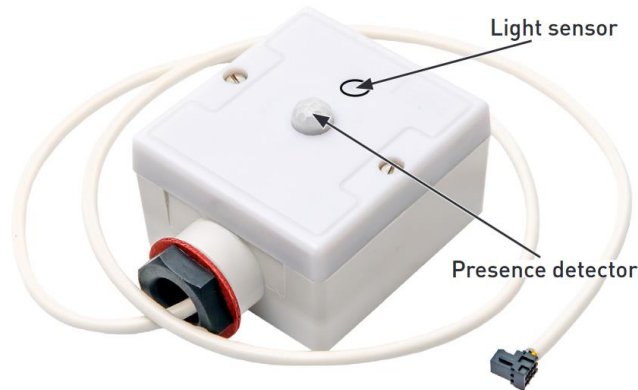
Active+ Sense on sensori, joka sisältää sekä liiketunnistimen että valoanturin. Se on hyvin pienikokoinen ja asennetaan valaisimeen kiinni. Vaihtoehtoisena asennustapana on pyöreä pidike, jolla sensori voidaan asentaa kattoon. Liiketunnistimen tunnistuskulma on 80 astetta, ja sen nimellisasennuskorkeus on kolme metriä. Valosensorin tunnistuskulma on 60 astetta. Sensori kytketään kiinni joko Control Unitiin tai Control Unit DALLiin riippuen toteutuksesta. Kuvassa 4 on sensorin musta versio. [4; 6; 7.]



Kuva 4. Active+ Sense [8].

ActiveAhead Sense Outdoor

ActiveAhead Sense Outdoor on kuin Active+ Sense, mutta se on IP65-luokiteltu. Myös se kytketään Control Unitiin tai Control Unit DALLiin. Sensori on nähtävässä kuvassa 5 IP-koteloineen. [9]



Kuva 5. ActiveAhead Sense Outdoor [9].

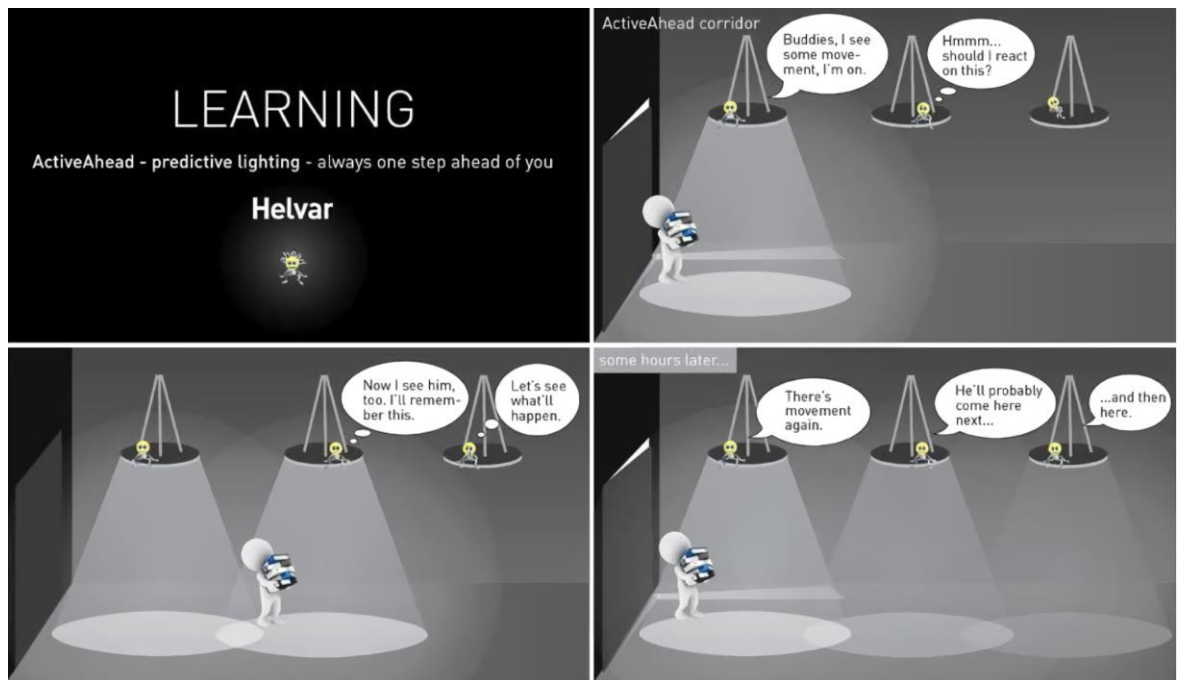
Wireless Control Panel

Wireless Control Panel on ohjauspaneeli, joka voidaan asentaa esimerkiksi seinään. Paneelilla on mahdollista laittaa valaisimet päälle ja pois, himmentää niitä ja käyttää erilaisia tilanteita. Paneelin ohjelmointi tapahtuu ActiveAhead-mobiilisovelluksella. Ohjelmoinnin yksi vaihe vaatii puhelimelta tuen NFC:lle, joten sen pystyy tekemään vain Android 6.0 -versiosta lähtien olevilla puhelimilla. Muut vaiheet voidaan tehdä myös iOS-puhelimilla. Fyysinen asennus tapahtuu mukana tulevalla kaksipuoleisella tarralla tai ruuveilla. Laite on täysin langaton, joten asennukseen ei tarvita johdotusta. Käyttöenergiansa paneeli tuottaa käyttäjän painaessa jotakin neljästä napista. [10; 11.]

3.2 Toimintaperiaate

ActiveAhead-järjestelmä koostuu yksittäisistä Bluetooth mesh -verkossa toimivista valaisimista. Jokaisessa valaisimessa on mikroprosessori Bluetooth-radioineen, liiketunnistin sekä valaistusanturi. Liiketunnistimen havaitessa liikettä, valaisin siirtyy läsnäolotilaan ja lähettää Bluetooth-verkon kautta tiedon liikehavainnosta ympärilleen. Lähellä olevat valaisimet saavat tuon viestin, ja havaitessaan lyhyen aikavälin sisällä itse liikettä ne tallentavat tämän tiedon sekä riippuvuussuhteen tiedon lähettäneeseen valaisimeen. Monien toistojen jälkeen valaisimet tavallaan ehdollistuvat ja seuraavat toisiaan. Näin valaisimet osaavat ennakoida ja syttyä päälle ennen kuin ovat itse edes havainneet liikettä.

Kuva 6 havainnollistaa oppimista hyvin. Oppiminen alkaa siitä hetkestä, kun valaisimeen kytketään virrat päälle, ja jatkuu niin kauan kuin valaisin on toimintakykyinen. [12]

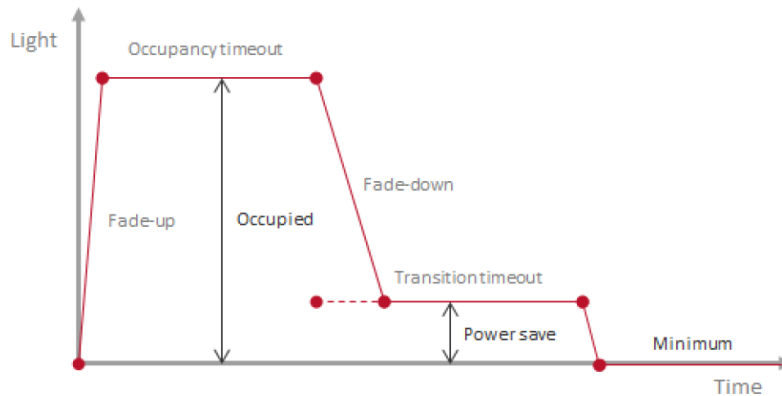


Kuva 6. ActiveAhead-järjestelmän oppiminen ja ennakointi [12].

ActiveAheadissa on mahdollista säätää eri valotasoa ja päälläoloaikoja. Näitä on havainnollistettu kuvassa 7. Valaisimen nähdessä liikettä se siirtyy kirkastumisajassa (fade-up, oletuksena 1 sekunti) läsnäolovalotasolle (occupied, oletuksena 85 %) ja valaisin pysyy tuolla valotasolla niin kauan, kuin se näkee liikettä. Viimeisen liikkeen nähtyään se pysyy läsnäolovalotasolla vielä läsnäoloviiveen (occupancy timeout, oletuksena 4 minuuttia) verran. Läsnäoloviiveen kuluttua valaisin alkaa laskemaan valotasoaan himmenemisajassa (fade-down, oletuksena 60 sekuntia) energiansäästövalotasolle (power save, oletuksena 20 %). Energiansäästötilassa valaisin pysyy siirtymäajan (transition timeout, oletuksena 5 minuuttia). Siirtymäaika alkaa kuitenkin jo samalla hetkellä kuin himmenemisaika, joten valaisin on energiansäästötilan mukaisella valotasolla vain siirtymäajan ja himmenemisaajan erotuksen verran. Siirtymäajan kuluttua valaisin siirtyy minimivalotasolle (minimum, oletuksena 0 %) käyttäen himmenemisaikaa. [11]

Jos missään vaiheessa edellä mainittua prosessia valaisin havaitsee liikettä, se siirtyy läsnäoloviiveen alkuun. Samalla myös koko prosessi alkaa alusta. Poikkeuksena on

päivänvalon hyödyntäminen, jolloin valaisin voidaan pysymään silminnähden sammuneena liikkeestä huolimatta, jos sensori havaitsee tarpeeksi ulkopuolista valoa. Edellä mainitut valotasot ja ajat ovat hyvin olennaisia myöhemmin tässä työssä laskettaessa eri asetusten vaikutusta energiankulutukseen. [11]



Kuva 7. ActiveAheadin valotasojen ja päälläoloaikojen yhteys toisiinsa [11].

4 Taustatietoa valaistuksesta

Parkkihalli jakautuu kahteen eri osioon kuten kuvassa 8 näkyy. Vasemmalla oleva puoli on Helvarin ja muutaman muun yrityksen käytössä. Yhteensä hallissa on 325 valaisinta, 145 vasemmalla puolella, 6 keskellä olevalla rampilla, joka on merkattu kuvaan suorakulmiolla ja 174 valaisinta oikealla puolella. Ennen valaistuksen saneerausta ohjaus tapahtui aikakytkimellä, joka piti valoja päällä 12 tuntia kuutena päivänä viikossa. Hallin oikealla puolella oli lisäksi liiketunnistin, jolla valot saatiin syttymään myös aikakytkimen toiminta-aikojen ulkopuolella. Hallin vasemmalle puolelle se ei kuitenkaan vaikuttanut.



Kuva 8. Parkkihallin pohjapiirustus.

Valaistus oli toteutettu loisteputkivalaisimilla. Jokaisessa valaisimessa oli kaksi 36 W:n loisteputkea. Sen lisäksi sähkötehoa kulutti vanha kuristin jopa 18 W teholla. Yhteensä teho oli siis 90 W/valaisin ja noin 29,3 kW yhteensä. Vuodessa energiankulutus oli yhteensä noin 110 000 kWh.

Loisteputkien huonoina puolina on nykymittapuilla suuri energiankulutus, tiheä vaihtoväli sekä epätasaisuus putkien ollessa eri-ikäisiä. Jälkimmäinen oli hyvin nähtävissä hallissa ennen saneerausta. Valaistus oli kuin tilkkutäkki, kun loisteputket olivat eri-ikäisiä. Näin ollen niiden värilämpötila ja kirkkaus vaihteli hyvin paljon. Valaisimet olivat erittäin likaisia, ja myös sen vuoksi niiden valontuotto oli heikentynyt huomattavasti.

Vanhan valaistuksen heikkouksiin kuului myös aikakytkimellä tapahtunut ohjaus. Tullessa aikaisin aamulla tai myöhään illalla hallissa ei ollut ollenkaan valoa. Myöskään

sunnuntaisin valot eivät olleet päällä. Vasemmalle puolelle olisi voinut asentaa myös liiketunnistimen, mutta se ei olisi poistanut suurta energiankulutusta.

Valaistuksen huoltamisesta ja saneerauksesta tehtiin vuoden 2018 juhannuksen tienoilla kysely, jossa käyttäjiltä pyydettiin kannanottoa valaistusolosuhteisiin, valaistuksen toimivuuteen sekä energiansäästön tärkeyteen. Vastauksia tuli yhteensä 26. Niissä valaistus todettiin epätasaiseksi, turvattomaksi ja energiansäästöä pidettiin tärkeänä.

Valaistuksen parannukseksi tehtiin muutama erilainen ehdotus. Ensimmäinen oli minimoimenpide, jossa loisteputket vaihdettaisiin uusiin ja valaisimet pestäisiin. Kustannuksiksi laskettiin 15 euroa valaisinta kohden eli 4 875 euroa yhteensä. Toisena vaihtoehtona oli vaihtaa vanhojen valaisimien tilalle LED-valaisimet. Tämän ratkaisun etuina oli energiansäästö, tasaisempi ja laadukkaampi valaistus sekä pienemmät ylläpitokustannukset pidemmän elinkaaren johdosta. Huonoina puolina oli kuitenkin edelleen riippuvuus aikakytkimestä, joka johtaa toiminta-aikojen ulkopuolella olevan valottomuuden lisäksi turhaan energiankulutukseen hetkinä, jolloin liikettä ei ole. Valaisimen tehoksi oli laskettu 45 W ja energiankulutukseksi yhteensä vuodessa noin 55 000 kWh eli puolet vanhaan verrattuna. Oletettaessa energian hinnaksi 0,1 €/kWh tämä ratkaisu olisi tuonut vuodessa noin 5 480 euron säästöt, ilman loisteputkien vaihtamiseen meneviä kustannuksia.

Kolmantena vaihtoehtona oli Helvarin uudehkon itseoppivan ActiveAhead-valaistusohjausjärjestelmän käyttäminen. Se yhdisti LED-valaisimen hyvät puolet, riippumattomuuden aikakytkimestä, tehokkaan energiansäästön jokaisessa valaisimessa olevan liiketunnistimen ansiosta sekä helpon asennustyön. Muut kohdat olisivat olleet toteutettavissa vaikkapa DALI:lla, mutta sen käyttö olisi lisännyt kustannuksia ohjauskaapeloinnin asentamisen ja ohjelmoinnin takia. ActiveAhead-valaisimien tuomiksi säästöiksi laskettiin 8 780 euroa vuodessa verrattuna loisteputkivalaistukseen. Tällöin oli käytetty vakiovalon kerrointa 0,85 ja läsnäolotunnistuksen kerrointa 0,6. Lisäksi kertoimia oli käytetty tavalliselle LED-valaisimelle laskettuun energiankulutukseen eli 12 tunnille kuutena päivänä viikossa. Vuodessa energiaa kuluisi 27 926 kWh.

Vakiovalo tarkoittaa sitä, että valaisimen valotaso on laskettu, jotta valaisimen ikääntyessä ja valontuoton heikentyessä valotaso voidaan nostaa. Näin valaisimen tuottaman

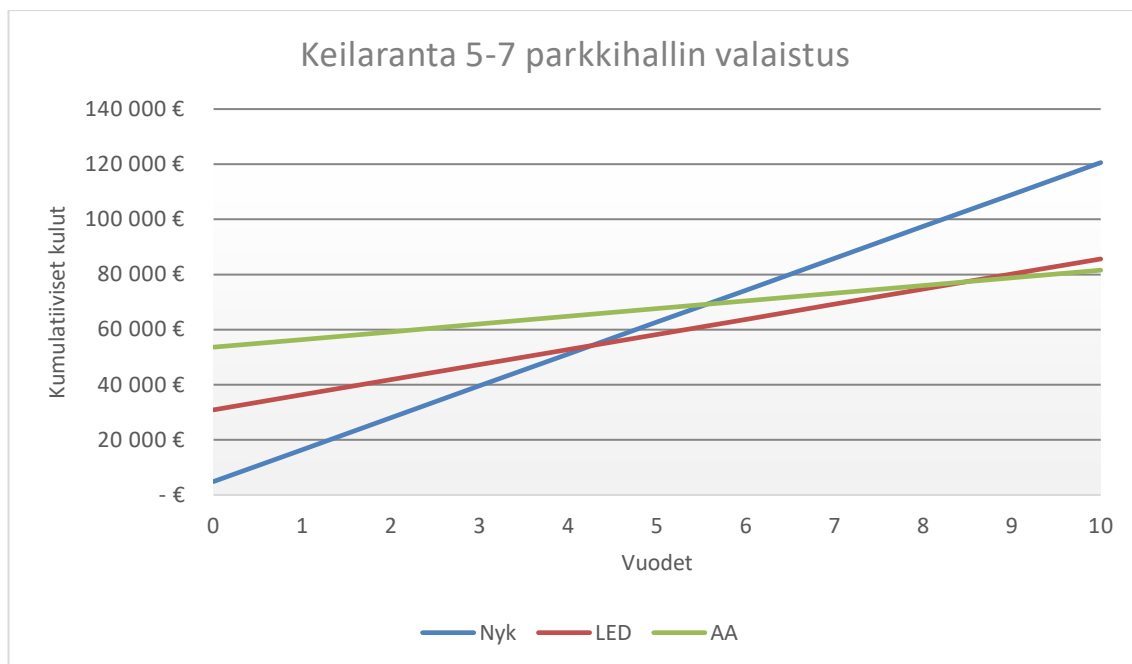
valon määrä pysyy vakiona, eikä valaistuksen ollessa uusi tai puhdistuksen jälkeen kuluteta ylimääräistä energiaa ylivalaisuun. [13]

Läsnäolotunnistuksen kerroin puolestaan kompensoi käytetyn tilan valaistuksen energiankulutusta käyttöasteen mukaan. Läsnäolo-ohjauksessa käytetään viivettä, joka sammuttaa valot automaattisesti tietyn ajan jälkeen viimeisestä liikehavainnoista. Valaistus on päällä vain, kun tilassa ollaan. Näin esimerkiksi tutkimuskohteena olevassa parkkihallissa harvoin käytetyillä alueilla läsnäolo-ohjauksen kerroin voisi olla paljon pienempi ja vastaavasti usein käytetyillä rampilla isompi. [13]

Standardi SFS-EN 15193-1 sisältää ohjeet läsnäolokerroimen laskemiselle. Läsnäolokerroin F_O lasketaan poissaolokerroimen F_A ja valaistuksen ohjaukserroimen F_{OC} avulla. Taulukoista saadaan poissaolokerroimeksi yksityisellä parkkipaikalla 0,95 ja ohjaukserroimeksi automaattisella sytytyksellä ja sammutuksella 0,9. Poissaolokerroimen ollessa välillä 0,9–1,0 laskemiseen käytetään kaavaa: $F_O = [7 - (10 \times F_{OC})] \times (F_A - 1)$. Tästä saadaan läsnäolokerroimeksi 0,1. Julkisen parkkipaikan poissaolokerroimenä on 0,8 ja silloin käytetään kaavaa: $F_O = F_{OC} + 0,2 - F_A$. Tällöin läsnäolokerroin olisi 0,3. [14]

Saneerausehdotuksen läsnäolokerroin korjattiin niin, että se on linjassa standardin kertoimelle. Vuodessa ActiveAhead-valaisimet kuluttaisivat ollessaan jatkuvasti päällä 128 115 kWh. Laskussa on käytetty yksittäisen valaisimen tehona 45 W:a kuten alkupe-
räisessäkin laskelmassa. Käyttämällä lukua 0,85 vakiovalon kertoimena energiankulutus olisi 108 898 kWh. Jakamalla saneerausehdotuksessa laskettu ActiveAheadin energiankulutus tuolla äsken lasketulla luvulla saadaan läsnäolokerroin, joka on verrattavissa standardin kertoimiin. Laskutoimituksesta $27\,926 / 108\,898$ saadaan tulokseksi 0,26.

Kuvassa 9 on kululaskelmat aikaisemmin esitellyistä kolmesta eri vaihtoehdosta. LED-valaisimet maksavat itsensä takaisin reilussa neljässä vuodessa, kun taas ActiveAhead-järjestelmällä siihen menee hieman vajaa viisi ja puoli vuotta. ActiveAhead-järjestelmän takaisinmaksuaika verrattuna LED-valaistukseen on kahdeksan ja puoli vuotta.



Kuva 9. Parkkihallin kululaskelma.

Uusiksi valaisimiksi valikoituivat Elektro-Valon parkkihalliin sopivat valaisimet ActiveAheadilla varustettuna. Valmistajan ilmoittama valaisimen valovirta on 5 122 lm [15]. Valaisimet vaihdettiin suoraan vanhojen valaisimien tilalle. Näin välttyttiin johdotusten uusimiselta ja katon poraamiselta.

Edellä mainitut energiankulutukset ja säästöt ovat arvioita, jotka tehtiin parkkihallin saneerausta suunnitellessa. Tämän työn tarkoituksena on selvittää, kuinka paljon käytännössä ActiveAhead-järjestelmä säästää energiaa.

5 ActiveAhead-valaistuksen energiankulutus

5.1 Standardin asettamat rajoitukset valotasolle

Standardi SFS-EN 12464-1 työkohteiden valaistuksesta sisältää vaatimuksia parkkihallin valaistukselle. Kuvassa 10 olevassa taulukossa on arvot, jotka valaistuksen tulee toteuttaa. Standardi sisältää myös kaavan, jolla keskimääräinen valaistusvoimakkuus laskettaisiin. Tässä työssä ei kuitenkaan ole keskitytty siihen, täyttääkö valaistus standardin

täysin. Valaistusvoimakkuuksia on mitattu muutamista eri paikoista ja alle 75 luksin valaistusvoimakkuuksia ei havaittu. Parkkihallin valaistus on varsin symmetrinen, joten pienen alueen mittaaminen kuvastaa melko hyvin koko hallin valaistusta. Näin ollen voidaan sanoa, että keskimääräinen yli 75 luksin valaistusvoimakkuus täyttyy. Mittauksen tarkoitus oli lähinnä todeta, voisiko valotasojä tarvittaessa laskea energiansäästön optimoimiseksi. Työn kohteena olevassa parkkihallissa tuota ei voida tehdä, sillä tulokset eivät myöskään olleet kovin paljoa yli 75 luksia. Standardin rampille päivällä vaatima 300 luksin valaistusvoimakkuus on pyritty huomioimaan nostamalla rampin valaisimien läsnäolovalotaso 100 %:iin.

Viitenro.	Tila, tehtävä tai toiminta	\bar{E}_m lx	UGR_L	U_o	R_a	Erityisvaatimukset
5.34.1	Sisään-/ulosajorampit (päivällä)	300	25	0,40	40	1. Valaistusvoimakkuus lattiatasolla. 2. Turvavärien tulee olla tunnistettavissa
5.34.2	Sisään-/ulosajorampit (yöllä)	75	25	0,40	40	1. Valaistusvoimakkuus lattiatasolla 2. Turvavärien tulee olla tunnistettavissa
5.34.3	Ajoradat	75	25	0,40	40	1. Valaistusvoimakkuus lattiatasolla 2. Turvavärien tulee olla tunnistettavissa
5.34.4	Pysäköintialueet	75	–	0,40	40	1. Valaistusvoimakkuus lattiatasolla 2. Turvavärien tulee olla tunnistettavissa 3. Hyvä pystypinnan valaistusvoimakkuus helpottaa kasvojen tunnistusta ja lisää siten turvallisuuden tunnetta.
5.34.5	Lipunmyynti	300	19	0,60	80	1. Ikkunoista tulevia heijastuksia on vältettävä. 2. Ulkoa tuleva häikäisy on estettävä.

Kuva 10. Pysäköintihallin valaistuksen vaatimukset [16].

Uusi standardiluonnos sisältää tarkempia vaatimuksia. Siinä on määriteltynä sylinterivalaistusvoimakkuus, katon- ja seinän valaistusvoimakkuudet sekä ylempi valaistusvoimakkuus, jonka pitäisi olla saavutettavissa valaistusjärjestelmällä. Todellinen ylläpidettävä valaistusvoimakkuus valitaan vaaditun vähimmän ylläpidettävän valaistusvoimakkuuden ja tuon ylempään valaistusvoimakkuuden väliltä. Tarvittaessa valaistusvoimakkuus voi olla myös ylempään rajan yli. [17]

5.2 Energiankulutuksen selvittäminen

Energiankulutuksen ja valaisimien paloaikojen selvittäminen tapahtui Helvarin sisäisillä työkaluilla. Helvarin DALI- ja ActiveAhead-liitäntälaitteissa on muistipaikkoja esimerkiksi energiankulutukselle, valonlähteen päälläoloajalle ja liitäntälaitteen päälläoloajalle. Uuden DALI-2-standardin osa 252 edellyttää myös esimerkiksi juuri energiankulutuksen tallentamista [18]. Helvarin työkaluilla pystytään lukemaan halutut arvot langattomasti ActiveAhead-valaisimilta liitäntälaitteen muistipaikoista. Käytännössä arvojen lukeminen tapahtui niin, että tietokoneohjelmalla lähetettiin valaisimille kysely haluttujen muistipaikkojen arvoista. Tuota kyselyä lähetettiin monta kertaa samalla, kun parkkihallia käveltiin ympäri. Näin voitiin varmistaa, että jokainen valaisin on saanut kyselyn ja vastannut siihen.

Bluetooth-verkon kuunteluun käytetty työkalu tallensi halutun tiedon lisäksi kaiken verkossa muutenkin liikkuvan datan. Tämä johti siihen, että lokitiedostoon tallentui hyvin paljon turhaa tietoa. Lisäksi loki sisälsi päällekkäistä tietoa, sillä osa valaisimista kuuli lähetetyt kyselyt monesti. Yhden arvon kysely saattoi edellä mainituista syistä johtaa jopa 9 000 rivin lokiin. Tämän analysoiminen manuaalisesti olisi ollut hyvin työlästä, ja sen olisi joutunut tekemään joka kerta uudestaan, kun mittauksen suoritti. Tuon välttämiseksi tehtiin Python-ohjelmointikielellä skripti, joka käsitteli lokitiedoston poistamalla sieltä turhat tiedot ja päällekkäisyydet. Sen olisi voinut tehdä Excelilläkin, mutta skriptin todettiin olevan kätevämpi nimenomaan mittauksia toistettaessa. Lisäksi skriptille voi antaa monta lokitiedostoa eri arvoista, ja se käsittelee ne kerralla antaen lopputuloksena CSV-tiedoston (comma-separated values). Tuo CSV-tiedosto sisältää valaisimen yksilöintitunnisteen ja halutut arvot.

Liitäntälaitteen raportoiman energiankulutuksen varmentamiseksi oli muutamia suunnitelmia. Yhtenä niistä oli käyttää pistorasiaan liitettävää energiankulutusmittaria, jolla voisi verrata mittarin ja liitäntälaitteen ilmoittamaa energiankulutusta. Pistorasiaan kytkettävä mittari olisi ollut siitä hyvä ratkaisu, että ne ovat halpoja ja niitä olisi voinut hankkia useita ja kytkeä eri käyttöasteella oleviin valaisimiin. Näin olisi tullut varmistettua energiankulutus monelta valaisimelta ja erilaisilla kuormituksilla. Kysyttäessä sähkötukku Onniselta Opal AEH957 -energiankulutusmittarista tietoja sieltä vastattiin, ettei mittaria ole tarkoitettu niin pienille tehoille ja tarkkuuksille, vaan isommille kuormille kuten kodinkoneille

[19]. Toinen suunnitelma oli käyttää laboratorioon tarkoitettua mittaria. Tällaista ei kuitenkaan saatu käytettäväksi, ja siinä ongelmaksi olisi voinut tulla esimerkiksi pitkä mittausaika. Mittauksen oli suunniteltu kestävän noin kuukauden, sillä liitäntälaitteet raportoivat energiankulutuksen 0,1 kWh:n tarkkuudella ja harvoin käytetty valaisin kuluttaa 0,5–2 kWh kuukaudessa. Käytettäessä vain kahden viikon mittausaika liitäntälaitteen mittaustarkkuus olisi aiheuttanut prosentuaalisesti suuren epätarkkuuden tuloksiin. Lopulta liitäntälaitteen energiankulutuksen raportointi jäi siis varmentamatta mittaamalla.

Selvitetyt energiankulutuksen havainnollistamiseen tässä työssä käytetään lämpökartan tapaisia kuvia. Niitä on kuitenkin vain hallin vasemmalta puoliskolta, sillä oikean puolen valaisimet eivät muodostaneet samankaltaista ruudukkoa. Kuvissa on käytetty skaalaa vihreä–keltainen–punainen. Skaala on sovitettu aina kyseisen kuvan arvoihin: vihreä on kuvan alin arvo ja punainen korkein arvo. Keltaisen arvona on käytetty kuvan mediaania, eli skaala ei ole lineaarinen, vaan keltaisen paikka vaihtuu kuvissa mediaanin mukaan. Eri kuvien värejä ei voi siis suoraan verrata keskenään, sillä värit ovat suhteellisia kuvan arvoihin nähden. Kuva 11 havainnollistaa päätöstä. Ovilla ja rampilla valaisimiin on ohjelmoitu minimitasoksi 15 %. Kuvaan ne on merkitty suorakulmioilla. Myös hallin oikealla puolella ovilla oleviin valaisimiin on asetettu sama minimitaso. Toisin sanoen nuo valaisimet pysyvät aina päällä, havaitsivat ne liikettä tai eivät. Tämä johtaa siihen, että kyseisten valaisimien energiankulutus on huomattavasti suurempi kuin muualla sijaitsevien valaisimien. Käytettäessä lineaarista väriskaalaa keltaisen arvoksi tulee kyseisessä kuvassa noin 64 kWh. Valtaosa valaisimista on kuluttanut alle tuon, joten suurin osa kuvasta on vihreää. Aina päällä olevien valaisimien korkea energiankulutus johtaa siis siihen, että muiden valaisimien energiankulutuksen värityksen dynaaminen alue pienenee niin paljon, ettei värejä enää erota toisistaan.

49 päivän jaksosta saadaan laskemalla 37 päivän energiankulutukseksi 710 kWh. Lomakaudella säästettiin siis huomattavasti energiaa.

5.4 Yleisvalon lisäämisen vaikutus energiankulutukseen

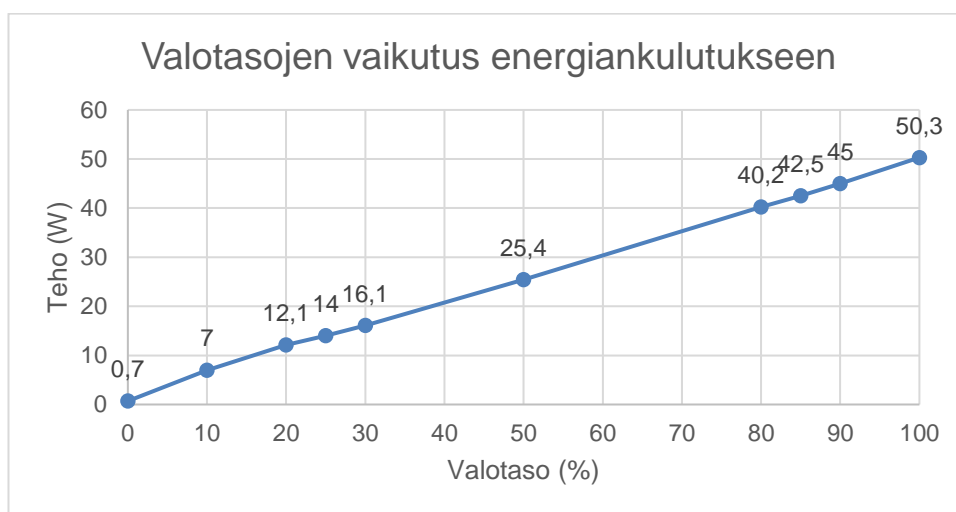
Parkkihalliin tullessa se oli perältä aika pimeä, jos siellä ei ollut liikuttu hetkeä aikaisemmin. Valot olisivat kyllä syttyneet, jos sinne olisi mennyt, mutta pimeys esti näkemästä, onko siellä paikkoja vapaana, ja samalla teki siitä muutenkin epähoukuttelevan. Tuota varten ohjelmoitiin kymmenen valaisinta ympäri hallin vasenta puoliskoa syttymään silloin, kun ovilla liikutaan. Käytännössä siis ovilla ja rampilla olevista valaisimista tehtiin ryhmä A. Kymmenestä valaisimesta, jotka haluttiin syttyvän ovilla tapahtuvan liikkeen johdosta luotiin ryhmä B. Tuo ryhmä B laitettiin seuraamaan ryhmää A käytäväpitotoinnolla ja käytäväpidon valotasoksi asetettiin 20 %.

Käytäväpito on toiminto, jossa ryhmä asetetaan seuraamaan toisen ryhmän toimintaa. Esimerkiksi toimistossa käytävälle voisi tehdä ryhmän, joka seuraisi neuvotteluhuoneessa olevaa ryhmää. Ihmisten ollessa neuvotteluhuoneessa myös käytävän valot palaisivat, mutta neuvotteluhuoneiden ollessa käyttämättä niiden valot eivät syttyisi, vaikka käytävällä käveltäisiinkin. Ryhmien seuraaminen toimii siis oletuksena vain yhteen suuntaan. Käytäväpitoon asetetulle ryhmälle voidaan asettaa valotaso, jolla ryhmän valaisimet ovat silloin, kun käytävällä ei ole liikettä, mutta neuvotteluhuoneessa on. Näin käytävällä ei ole turhaan kirkas valaistus, vaan valot siirtyvät läsnäolovalotasolle vasta havaitessaan liikkeen. Halutessaan käytäväpidon valotasona voidaan käyttää myös läsnäolovalotasoa. [11]

Ryhmän jäsenen valotasoksi B:ssä asetettiin 20 %. Näin muut ryhmän valaisimet pysyvät himmeällä valotasolla, vaikka yksi ryhmän jäsenen havaitsisikin liikkeen. Käyttämällä käytäväpitoa saatiin optimoitua energiankulutuksen kasvu mahdollisimman pieneksi. Nuo valaisimet olisi voinut laittaa pysymään ovilla olevien tapaan aina päällä himmeänä, mutta se olisi kasvattanut energiankulutusta paljon enemmän. Käytäväpidon ansiosta nurkkia ei valaista esimerkiksi öisin, mutta heti jos ovilla tai rampilla on liikettä, syttyvät nuo kymmenen valaisinta tuomaan turvallisuuden tunnetta ja houkuttelevuutta myös hallin peräosiin.

5.5 Valotasojen ja viiveaikojen vaikutus energiankulutukseen

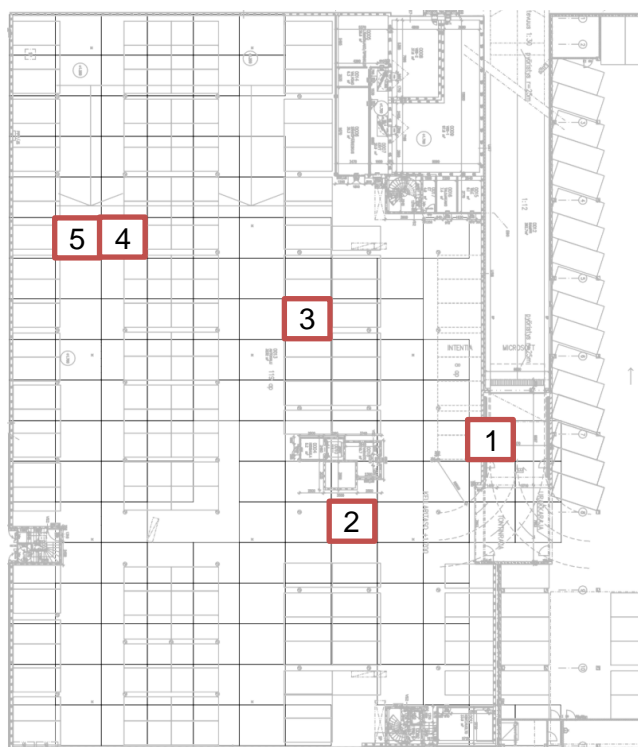
Eri valotasojen ja päälläoloaikojen vaikutusten selvittämiseksi mitattiin yhden valaisimen teho eri valotasolla. Mittaus suoritettiin Yokogawa WT210 -mittarilla. Kuvassa 14 on mittauksen tulokset. Ajatuksena oli mitata 10 %:n valotasojen välein, mutta kun havaittiin tulosten olevan hyvin lineaarisia, jätettiin muutamia pisteitä väliin. Lisäksi mitattiin 85 %:n valotaso, joka on oletuksena käytössä sekä 25 %:n taso, koska 30 %:n ja 20 %:n väli ei ollut enää niin lineaarinen.



Kuva 14. Valotasojen vaikutus valaisimen energiankulutukseen.

Tehon selvittämisen lisäksi kerättiin valaisimilta tietoa siitä, kuinka kauan ne ovat olleet läsnäolovalotasolla, energiansäästötasolla ja minimivalotasolla. Tähän tarkoitukseen käytettiin kahta Raspberry PI 3 -tietokonetta, jotka keräsivät valaisimien lähettämiä tietoja viikon ajan. Seuranta-ajaksi valikoitui viikko, sillä yksittäisten päivien käyttöaste saattaa vaihdella ja näin ollen yksi viikko edustaa paremmin keskimääräistä käyttöä. Viikko oli myös sopivan lyhyt, jos seuranta olisi tarvinnut teknisten ongelmien takia toistaa. Seurattaviksi valittiin eri käyttöasteella olevia valaisimia, jotta saataisiin monipuolisempia tuloksia ja vertailuita. Kuvassa 15 on noiden valaisimien sijainnit. Yksi on rampilla, josta ajavat kaikki autot, yksi on rampin vieressä olevalla ajoväylällä, josta ajavat lähes kaikki vasemmalle puolelle tulevat autot, yksi on melko usein käytetyllä parkkipaikalla ja kaksi viimeistä on hallin perällä olevalla käytävällä. Perältä on tarkoituksella valittu kaksi vierekkäistä, sillä toinen niistä kuuluu myös aiemmin esiteltyyn ryhmään ja on sen takia

paljon päällä. Näin niiden energiankulutusta ja päälläoloaikoja on mielenkiintoista vertailla.

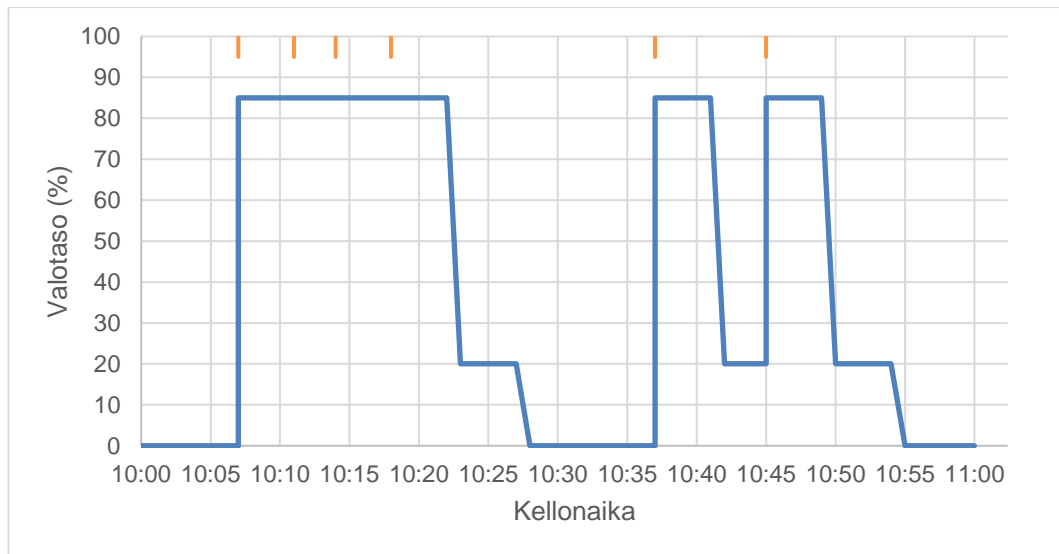


Kuva 15. Seurantaan valittujen valaisimien sijainnit.

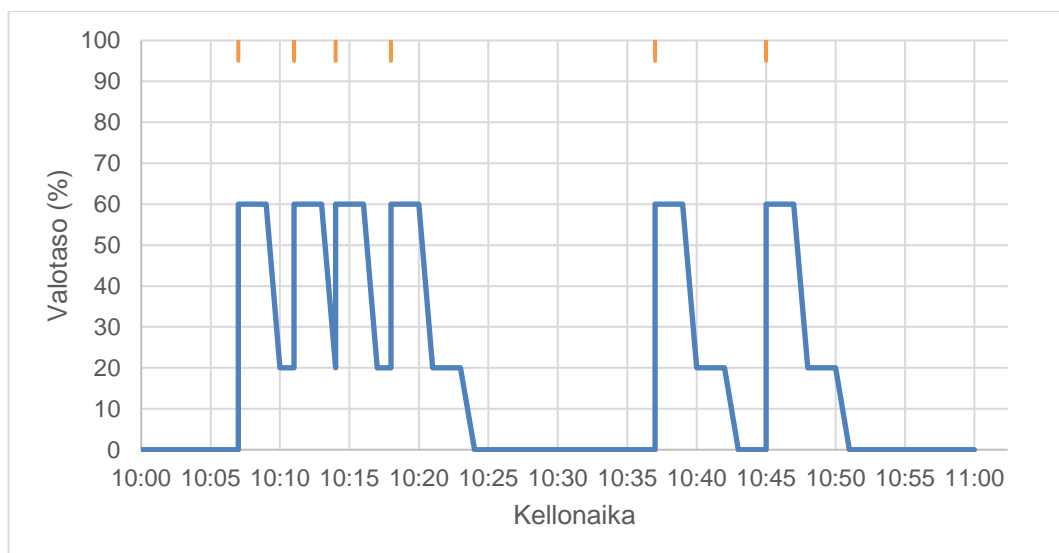
Jotta pystyttiin vertailemaan eri viiveaikojen ja valotasojen vaikutusta valaisimien energiankulutukseen, tarvittiin simulaattori, joka hyödyntäisi kerättyjä tietoja. Helvarin datatieteilijä (data scientist) koodasi tarkoitukseen sopivan simulaattorin. Sen avulla pystyttiin vaihtamaan luvussa 3.2 esitellyjä parametreja niin, että valaisimien käyttöaste pysyi koko ajan samana. Kerätyt tiedot sisälsivät esimerkiksi valaisimien tekemät liikehavainnot ja niiden kellonajat. Simulaattori generoi liikehavaintohetkien perusteella, miten valaisimien päälläoloajat muuttuvat todellisuudessa, kun muutetaan niiden viiveaikoja tai valotasoja. Todellisuudessa tuollaista olisi mahdoton tehdä, sillä ihmisten liikkuminen hallissa ei pysy vakiona. Lisäksi haasteena olisi selvitykseen menevä aika, jos yhden parametrin muuttamisen vaikutusten selvittämiseen menisi aina viikko.

Kuvissa 16 ja 17 on simuloitujen viiveaikojen ja valotasojen vaikutus visualisoituna. Yläreunan oranssit viivat kuvaavat liikehavainnon hetkeä. Molemmissa kuvissa käyttöaste on siis sama. Itse tilanne ei ole peräisin kerätyistä tiedoista, vaan on täysin kuvitteellinen.

Kuvassa 17 on nähtävissä, kuinka lyhyemmät viiveajat saavat valaisimen siirtymään energiansäästötasolle useammin ja välillä jopa sammumaan. Myös läsnäolotaso on kuvassa 17 alempi. Kuvia katsomalla onkin helppo havaita, kuinka lyhyemmillä viiveajoilla ja alemmalla valotasolla kuvaajan muodostama pinta-ala on pienempi ja siten myös energiankulutus on pienempi. Kuvan 17 energiankulutus on 52 % kuvan 16 energiankulutuksesta. Jos valotasot pidetään samoina kuin ensimmäisessä kuvassa, mutta vain viiveaikoja muutetaan, on tuo luku 64 %.



Kuva 16. Valaisimen toiminta oletusparametreilla.



Kuva 17. Valaisimen toiminta lyhyemmillä viiveajoilla ja matalammalla läsnäolotasolla.

Vertailua varten simuloitiin läsnäoloviiveen, siirtymäajan ja läsnäolovalotason vaikutukset energiankulutukseen. Muut valotasot ja himmenemisaika jätettiin simuloinnista pois, sillä niitä harvemmin säädetään. Simulaattorilla voidaan kuitenkin simuloida tarvittaessa nekin. Simuloinnin tulokset ovat liitteen 1 taulukoissa 1–5. Niistä näkee, miten esimerkiksi läsnäoloviiveen lyhentäminen minuutilla vaikuttaa energiankulutukseen. Pelkästään tuolla muutoksella energiaa säästyisi 6–12 % valaisinta kohden. Taulukosta 1 huomaa, ettei kyseisellä valaisimella siirtymäajan muuttamisella ole vaikutuksia energiankulutukseen käyttäessä nykyisiä valotasoja. Muutokset energiankulutuksessa ovat vain 1 %. Energiansäästötaso 20 % ja minimivalotaso 15 % ovat niin lähellä toisiaan, että lyhettäessä siirtymisaikaa valaisin on vain enemmän minimitasolla ja energiankulutus pysyy lähes samana. Käyttäessä minimitasoa 0 % on energiankulutuksessa ero 4–5 % yhden ja kymmenen minuutin siirtymäajan välillä. Muilla valaisimilla siirtymäajan säätämällä on enemmän vaikutusta energiankulutukseen, sillä niissä läsnäolovalotasolla oltu aika on lyhyempi ja näin sen vaikutus kokonaiskulutukseen on pienempi. Tällöin energiansäästötasolla vietetyn ajan eli siirtymäajan pituudella on suhteellisesti suurempi osuus kulutukseen.

Valaisimella 2 on valotason säädöllä paljon vaikutusta energiankulutukseen. Tämä johtuu siitä, että läsnäolotasolla vietetty aika on myös korkea, jolloin sen tehon säätämällä on enemmän vaikutusta. Läsnäolovalotason ollessa 60 % ja viiveaikojen ollessa nykyiset energiaa säästy jopa 24 %, kun muilla valaisimilla vastaavalla toimenpiteellä on vaikutusta 9–17 %. Kuitenkin käytettäessä samoja valotasoja valaisimella 1 tulee säästöprosentiksi 25 %. Taulukossa 1 kyseinen muutos on 16 prosenttiyksikköä, sillä prosentit on laskettu verrattuna 15 %:n minimivalotasoon ja 100 %:n läsnäolotasoon. Kuitenkin laskettaessa todellinen muutos energiankulutuksessa laskulla $1 - (1,87 / 2,5)$ saadaan tulokseksi edellä mainittu 25 %. Samaan tapaan voi laskea myös kahden muun energiankulutuksen todellisen muutoksen, jos ei halua verrata tämän hetken parametreilla saatuun energiankulutukseen.

Verrattaessa liitteen 1 taulukoita 4 ja 5 havaitaan, että valaisin 4 kuluttaa minimivalotason ollessa 0 % paljon enemmän energiaa kuin valaisin 5. Tämä johtuu osittain siitä, että valaisin 4 on ollut enemmän läsnäolotasolla, mutta suurimmaksi osaksi ryhmittelystä. Taulukosta 4 nähdään, että valaisin on ollut nykyisillä parametreilla lähes 33 tuntia viikon aikana päällä ryhmän takia. Ryhmänvalotasona tuolla valaisimella on 20 %, eli sama

kuin energiansäästötaso. Sen jälkeen, kun yksikään ryhmän jäsen ei ole havainnut liikettä, valaisin siirtyy energiansäästötasolle läsnäoloviiveen kuluttua ja sitten minimitasolle siirtymäajan ja himmenemisajan jälkeen. Siten ryhmä toimii kuin yksittäinen valaisin, mutta myös muut valaisimet voivat siirtää aikalaskurin taas alkuun havaitessaan liikkeen. Energiansäästötason kautta minimitasolle menemisestä johtuen valaisin 4 on ollut myös moninkertaisesti energiansäästötasolla. Koska ryhmä pitää valaisimia päällä ja valaisimet viettävät pitkän ajan energiansäästötasolla ei läsnäolovalotason säätämällä ole valaisimella 4 niin suurta vaikutusta kuin muilla valaisimilla. Vaikka läsnäolovalotason kuluttama teho on paljon energiansäästöä ja ryhmän jäsenen valotaso suurempi, kyseisen valaisimen tämän hetkisestä energiankulutuksesta yli puolet tulee ryhmästä ja energiansäästötasosta. Noilla tasoilla valaisin on ollut yhteensä 49,4 tuntia ja teho tasoilla on 12,1 W eli energiankulutukseksi tulee 0,6 kWh kokonaiskulutuksen viikossa ollessa 0,97 kWh. Taulukot 3 ja 5 ovat varsin vastaavat keskenään, ainoana erotuksena on se, että valaisin 3 on ollut enemmän käytössä. Tästä johtuen muutokset valaisimen 3 parametreissä aiheuttavat myös prosentuaalisesti suurempia muutoksia energiankulutuksessa.

Simuloinnin avulla saatiin myös vahvistus liitälaitteiden ilmoittaman energiankulutuksen luotettavuudelle. Simuloinnilla saadut yhden viikon energiankulutukset valaisimille 1–5 olivat järjestyksessä 3,77 kWh, 1,83 kWh, 0,63 kWh, 0,97 kWh ja 0,43 kWh. Kuvan 13 samoille valaisimille saadaan laskettua liitälaitteen ilmoittamiksi energiankulutuksiksi seitsemän päivän aikana 4,01 kWh, 2,08 kWh, 0,58 kWh, 1,09 kWh ja 0,43 kWh. Seuranta-aika on kuitenkin liitälaitteilla ilmoitetuissa arvoissa pidempi ja hallin käyttökin on tuona aikana vaihdellut. Lisäksi on mahdollista, että yksittäisiä tietoja liikehavainnoista on jäänyt vastaanottamatta Raspberry PI 3 -tietokoneilla. Joka tapauksessa nuo kaksi eri tapaa saada valaisimien energiankulutus osoittavat tulosten olevan linjassa keskenään ja täten luotettavia.

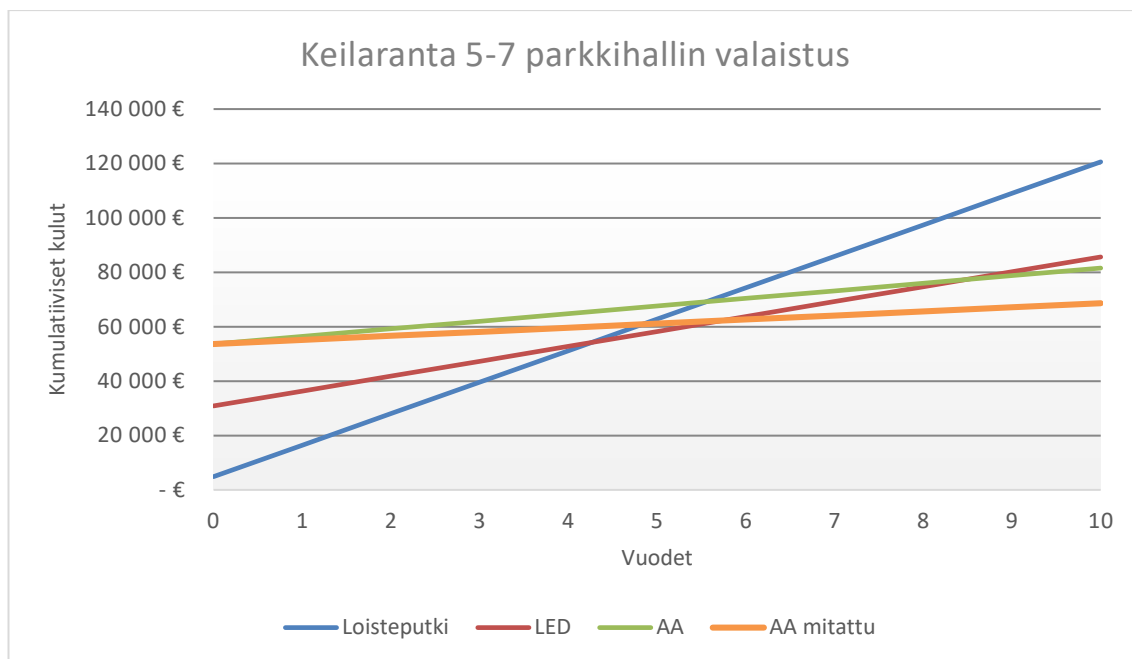
Kokonaisuudessaan järjestelmän energiankulutuksen optimoimiseen on monia keinoja. Läsnäolovalotason laskemisella on mahdollista saada merkittäviä säästöjä aikaan, jos vain standardin asettama vaatimus valaistusvoimakkuudesta antaa myöten. Tutkimuskohteena olleessa parkkihallissa voisi valotason säätämisen sijaan esimerkiksi lyhentää läsnäoloviivettä minuutilla, jolloin energiaa säästyisi 5–12 % valaisinta kohden ramppia lukuun ottamatta. Parkkihallissa vietetään yleisesti ottaen hyvin vähän aikaa, jolloin

kolmen minuutin läsnäoloviive voisi riittää. Kuitenkin, jos se koetaan liian lyhyeksi, siirtymäaikaa lyhentämällä kaksi minuuttia valaistuksen energiankulutus laskisi 3–6 %. Jos käyttäjän on valmis lyhyempiin viiveaikoihin ja matalampaan valotasoon, on energiankulutusta mahdollista saada hyvinkin paljon alemmaksi. Vastaavasti valotason kasvattaminen ei välttämättä kasvata energiankulutusta paljoa, jos kompensoi sitä muuttamalla viiveaikoja. Simuloinnin avulla saaduilla taulukoilla eri vaihtoehtoja on helppo vertailla keskenään.

5.6 Kokonaiskulutus

Viimeiset tiedot liitälaitteista kerättiin 20.9. Koko parkkihalli oli kuluttanut tuohon mennessä 9 300 kWh. Liitälaitteista saaduista päälläoloajoista laskettiin keskiarvo, joka oli 230 päivää. Näiden tietojen pohjalta laskettiin ActiveAhead-ratkaisun vuosikulutukseksi koko parkkihallissa noin 14 700 kWh. Kokeilun vuoksi testattiin myös poistaa kesäloma-ajan kulutuksen vaikutus tuosta, jolloin saatiin vuosikulutukseksi 15 200 kWh. Tuolloin siis parkkihalli olisi jatkuvasti normaalilla käytöllä. Todellisuudessa myös joulua ja muut loma-ajat laskevat kulutusta hieman.

Verrattuna entiseen loisteputkivalaistukseen energiansäästö on valtava. 110 000 kWh vaihtui noin 15 000 kWh:n kulutukseksi ja verrattuna myös LED-valaisimiin alkuperäisellä ohjauksella säästö on yli 70 %. Saneerausta varten tehty arvio ActiveAheadin kulutuksesta oli noin 28 000 kWh eli todellinen energiankulutus oli melkein puolet siitä. Kuvassa 18 on päivitetty versio kuvan 9 kululaskelmasta. Siihen on lisätty ActiveAheadin mitattu energiankulutus, joka on pyöristetty 15 000 kWh:n tarkkuuteen. Uuden ratkaisun takaisinmaksuaika suhteessa loisteputkien vaihtamiseen ja pesemiseen on 4,8 vuotta, eli aika laski 0,6 vuotta. Verrattaessa tavallisiin LED-valaisimiin takaisinmaksuaika on mitatun energiankulutuksen perusteella 5,7 vuotta, kun alkuperäisen arvion mukaan se olisi ollut 8,5 vuotta.



Kuva 18. Parkkihallin kululaskelma päivitetystä tiedolla.

Parkkihalli on kokonaan maan alla, joten luonnonvaloa sinne ei pääse. Sen tähden päivänvalon vaikutusta energiankulutukseen ei pystytty selvittämään. Energiansäästö on todennäköisesti vielä suurempi tiloissa, joihin luonnonvaloa pääsee, sillä järjestelmä osaa ylläpitää valaistusvoimakkuuden samana ulkupuolisen valaistuksen vaihdellessa.

Parkkihallin todellinen läsnäolokerroin selvitettiin myös, jotta voitiin verrata sitä standardista saatuihin kertoimiin. Luvussa 4 laskettiin standardin SFS-EN 15193-1 mukaan yksityisen parkkipaikan läsnäolokertoimeksi 0,1 ja julkisen 0,3. Alkuperäisen saneerausehdotuksen pohjalta laskettu läsnäolokerroin on 0,26. Todellista kerrointa varten laskettiin valaisimien ollessa aina päällä ensin parkkihallin energiankulutukseksi 121 723 kWh. Tuohon on käytetty valaisimen tehona todellista maksimitehoa 50,3 W ja vakiovalon kerrointa 0,85. Todelliseksi läsnäolokertoimeksi saadaan 0,12, kun jaetaan 14 700 kWh / 121 723 kWh. Kerroin on siis hyvin lähellä standardista saatua yksityisen parkkipaikan kerrointa. On kuitenkin muistettava, että ovilla ja rampilla aina päällä olevat valaisimet nostavat energiankulutusta ja siten myös läsnäolokerrointa.

6 Yhteenveto

Insinööriyössä selvitettiin ActiveAhead-järjestelmän vaikutusta valaistuksen energiankulutukseen. Työn tavoitteena oli saada aikaisempien arvioiden sijaan tutkittua tietoa ja tuo tavoite täyttyi hyvin. Valaistuksen energiankulutus saatiin selvitettyä kahdella eri tavalla, joiden tulokset tukivat toisiaan. Näin varsinaisen energiankulutusmittarin puuttuminen ei haitannut niin paljoa. Lisäksi energiankulutuksen avulla laskettu läsnäolokerroin oli linjassa standardista saadun kanssa, joka myöskin osoittaa suuruusluokan olevan oikein.

Täysin tarkkaa tietoa valaistuksen energiankulutuksesta on mahdoton saada. Kohteet sekä niiden valaisimet ovat erilaisia, ja ihmisten liikkuminen samassakin tilassa vaihtelee. Näin ollen ActiveAhead-valaistuksen energiankulutus ei pysy vakiona, vaan vaihtelee kohteesta ja käyttöasteesta riippuen. Työn tuloksia voidaan kuitenkin soveltaa eri valaisimäärille parkkihallissa ja suuntaa antavasti myös eri tiloihin käyttämällä standardista 15193-1 saatavia läsnäolokertoimia.

Työ sisälsi vain yhdenlaisen tilan energiankulutuksen selvityksen. Lisäksi parkkihallin maanalaisen sijainnin vuoksi luonnonvalon vaikutus energiankulutukseen jäi selvittämättä. Eri käyttökohteiden ja päivänvalon hyödyntämisen energiansäästöpotentiaalin tutkiminen olisivatkin mielenkiintoisia aiheita insinööriyön jatkamiseen.

Helvar saa tämän työn ansiosta arvokasta tietoa järjestelmänsä todellisesta energiankulutuksesta. Myös eri parametrien vaikutus energiankulutukseen on uutta tietoa, jolle on varmasti käyttöä optimoidessa energiankulutusta kohteissa. Työn tuloksia tullaan käyttämään Helvarin virallisiin materiaaleihin.

Lähteet

- 1 Radio Versions. Verkkoaineisto. Bluetooth. <<https://www.bluetooth.com/bluetooth-technology/radio-versions/>>. Luettu 2.9.2019
- 2 Bluetooth Mesh Glossary of Terms. Bluetooth. Verkkoaineisto. <<https://www.bluetooth.com/bluetooth-technology/topology-options/le-mesh/mesh-glossary/>>. Luettu 2.9.2019
- 3 Bluetooth SIG announces mesh networking capability. Asmag. Verkkoaineisto. <<https://www.asmag.com/showpost/26924.aspx>>. 19.07.2017. Luettu 9.9.2019
- 4 ActiveAhead Control Unit (5605). 2018. Verkkoaineisto. Helvar. <https://www.helvar.com/media/pd/2018/20180918/5605_DATASHEET_EN.pdf>. 18.9.2018. Luettu 20.06.2019
- 5 ActiveAhead Control Unit. Verkkoaineisto. Helvar. <https://www.helvar.com/media/pd/2017/20170119/5605_1_ActiveAhead-control-unit_web.jpg>. Luettu 20.06.2019
- 6 ActiveAhead Control Unit DALI (5606). 2018. Verkkoaineisto. Helvar. <https://www.helvar.com/media/pd/2018/20180607/5606_DATASHEET_EN.pdf>. 28.3.2018. Luettu 20.06.2019
- 7 Active+ Sense (T3020). 2017. Verkkoaineisto. Helvar. <https://www.helvar.com/media/pd/2017/20170920/Act-Sense_DATASHEET_EN.pdf>. 11.9.2017. Luettu 20.06.2019
- 8 Active+ Sense Sensor. Verkkoaineisto. Helvar. <https://www.helvar.com/media/pd/2017/20170517/T3020_1_web.jpg>. Luettu 20.06.2019
- 9 ActiveAhead Sense Outdoor (3022). 2018. Verkkoaineisto. Helvar. <https://www.helvar.com/media/pd/2018/20180607/3022_INSTALLATION_EN.pdf>. 13.4.2018. Luettu 20.06.2019
- 10 Wireless Control Panel (185W). 2017. Verkkoaineisto. Helvar. <https://www.helvar.com/media/pd/2018/20180607/185W_DATASHEET_EN.pdf>. 17.11.2017. Luettu 20.06.2019
- 11 User Guide: Operation of ActiveAhead Mobile Application. 2018. Verkkoaineisto. Helvar. <https://www.helvar.com/media/pd/2018/20180717/app-activeahead_USERGUIDE_EN.pdf>. Heinäkuu 2018. Luettu 20.06.2019

- 12 ActiveAhead. Verkkoaineisto. Helvar. <https://www.helvar.com/media/filer_public/9f/0a/9f0a3b15-d170-42bc-b0c4-462324582f9b/pb_activeahead_en_web.pdf> Luettu 20.06.2019
- 13 D3 laskentaopas. 2015. Valaistuksen tehontiheyden ja tarpeenmukaisuuden erillistarkastelut E-luvun laskennassa. RakMK D3 2012 mukaan. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 14 SFS-EN 15193-1. Rakennusten energiatehokkuus. 2017. Moduuli M9. Valaistuksen energiatehokkuus. Osa 1: Tekniset tiedot. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 15 Mykrä, Petteri. 2019. Avainasiakaspäällikkö, Elektro-Valo Oy, Uusikaupunki. Sähköpostikeskustelu 1.7.2019
- 16 SFS-EN 12464-1. Valo ja valaistus. 2011. Työkohteiden valaistus. Osa 1: sisätilojen työkohteiden valaistus. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 17 Draft prEN 12464-1. Light and lighting. July 2019. Lighting of work places. Part 1: Indoor work places. Bryssel: CEN-CENELEC.
- 18 Diia specification. DALI Part 252. February 2019. Energy reporting (Device Type 51). Version 1.0. Digital Illumination Interface Alliance
- 19 Peltonen Mika. 2019. Category Manager, Onninen Oy, Tampere. Sähköpostikeskustelu 5.9.2019

Parametrien vaikutus energiankulutukseen

Taulukko 1. Valaisimen 1 energiankulutus (kWh) viikossa ja energiankulutus verrattuna kyseisen valaisimen alkuperäisiin parametreihin (%). Alkuperäinen tulos korostettuna.

Läsnäoloi- ve (min) - Siirtymäaika (min)	Minimivalotaso (h)	Läsnäolotaso (h)	Energiansäästö- taso (h)	Ennakointi ja oppiminen (h)	Ryhmä päällä (h)	Valotaso (%)				
						15	0	0	0	0
						2,69 / 71 %	1,8 / 48 %	1,61 / 43 %	1,32 / 35 %	1,09 / 29 %
1-5	100,9	24,0	42,8	0,3	0,0	2,69 / 71 %	1,8 / 48 %	1,61 / 43 %	1,32 / 35 %	1,09 / 29 %
2-5	99,7	37,0	30,9	0,4	0,0	3,2 / 85 %	2,31 / 61 %	2,03 / 54 %	1,58 / 42 %	1,22 / 32 %
3-5	98,7	45,7	23,0	0,6	0,0	3,53 / 94 %	2,66 / 71 %	2,3 / 61 %	1,75 / 46 %	1,31 / 35 %
4-5	97,9	51,8	17,6	0,7	0,0	3,77 / 100 %	2,91 / 77 %	2,5 / 66 %	1,87 / 50 %	1,37 / 36 %
5-5	97,3	54,8	15,1	0,9	0,0	3,89 / 103 %	3,03 / 80 %	2,6 / 69 %	1,93 / 51 %	1,41 / 37 %
8-5	96,6	58,5	11,8	1,1	0,0	4,04 / 107 %	3,18 / 84 %	2,73 / 72 %	2,01 / 53 %	1,45 / 39 %
10-5	96,4	59,7	10,8	1,1	0,0	4,08 / 108 %	3,23 / 86 %	2,76 / 73 %	2,04 / 54 %	1,47 / 39 %
4-1	109,7	51,8	5,8	0,7	0,0	3,74 / 99 %	2,77 / 73 %	2,37 / 63 %	1,74 / 46 %	1,24 / 33 %
4-2	105,6	51,8	9,9	0,7	0,0	3,75 / 99 %	2,82 / 75 %	2,41 / 64 %	1,78 / 47 %	1,29 / 34 %
4-3	102,5	51,8	12,9	0,7	0,0	3,76 / 100 %	2,85 / 76 %	2,45 / 65 %	1,82 / 48 %	1,32 / 35 %
4-4	100,0	51,8	15,4	0,7	0,0	3,77 / 100 %	2,88 / 76 %	2,48 / 66 %	1,85 / 49 %	1,35 / 36 %
4-8	96,5	51,8	19,0	0,7	0,0	3,78 / 100 %	2,92 / 77 %	2,52 / 67 %	1,89 / 50 %	1,39 / 37 %
4-10	96,0	51,8	19,4	0,7	0,0	3,78 / 100 %	2,93 / 78 %	2,52 / 67 %	1,89 / 50 %	1,4 / 37 %
8-2	102,1	58,5	6,3	1,1	0,0	4,02 / 107 %	3,12 / 83 %	2,66 / 71 %	1,95 / 52 %	1,39 / 37 %
2-8	97,1	37,0	33,5	0,4	0,0	3,2 / 85 %	2,34 / 62 %	2,05 / 54 %	1,61 / 43 %	1,25 / 33 %
2-3	105,7	37,0	24,9	0,4	0,0	3,18 / 84 %	2,25 / 60 %	1,96 / 52 %	1,51 / 40 %	1,15 / 31 %

Taulukko 2. Valaisimen 2 energiankulutus (kWh) viikossa ja energiankulutus verrattuna kyseisen valaisimen alkuperäisiin parametreihin (%). Alkuperäinen tulos korostettuna.

Läsnäoloviive (min) - Siirtymäaika (min)	Minimivalotaso (h)	Läsnäolotaso (h)	Energiansäästö- taso (h)	Ennakointi ja oppiminen (h)	Ryhmä päällä (h)	Valotaso (%)					
						15 20 100	0 20 100	0 20 85	0 20 60	0 20 40	
											Minimitaso Energiansäästö- taso Läsnäolotaso
1-5	116,1	13,4	38,4	0,1	0,0	2,25 / 124 %	1,22 / 67 %	1,12 / 61 %	0,95 / 52 %	0,83 / 45 %	
2-5	115,1	23,1	29,5	0,2	0,0	2,63 / 145 %	1,61 / 88 %	1,43 / 78 %	1,15 / 63 %	0,92 / 50 %	
3-5	114,4	30,4	22,9	0,3	0,0	2,9 / 160 %	1,89 / 103 %	1,66 / 90 %	1,29 / 70 %	1 / 54 %	
4-5	113,9	35,9	17,8	0,4	0,0	3,12 / 171 %	2,11 / 115 %	1,83 / 100 %	1,39 / 76 %	1,05 / 57 %	
5-5	113,6	37,9	16,0	0,5	0,0	3,2 / 175 %	2,19 / 120 %	1,9 / 104 %	1,44 / 78 %	1,07 / 59 %	
8-5	113,4	40,8	13,2	0,6	0,0	3,31 / 181 %	2,31 / 126 %	1,99 / 109 %	1,49 / 81 %	1,1 / 60 %	
10-5	113,3	41,5	12,6	0,6	0,0	3,34 / 182 %	2,33 / 127 %	2,01 / 110 %	1,51 / 82 %	1,11 / 60 %	
4-1	126,4	35,9	5,3	0,4	0,0	3,09 / 169 %	1,97 / 108 %	1,69 / 92 %	1,25 / 68 %	0,91 / 50 %	
4-2	122,3	35,9	9,4	0,4	0,0	3,1 / 169 %	2,02 / 110 %	1,74 / 95 %	1,3 / 71 %	0,95 / 52 %	
4-3	118,9	35,9	12,8	0,4	0,0	3,11 / 170 %	2,05 / 112 %	1,77 / 97 %	1,34 / 73 %	0,99 / 54 %	
4-4	116,2	35,9	15,5	0,4	0,0	3,11 / 170 %	2,09 / 114 %	1,81 / 99 %	1,37 / 75 %	1,02 / 56 %	
4-8	113,2	35,9	18,5	0,4	0,0	3,12 / 170 %	2,12 / 116 %	1,84 / 100 %	1,4 / 77 %	1,06 / 58 %	
4-10	113,0	35,9	18,7	0,4	0,0	3,12 / 170 %	2,12 / 116 %	1,84 / 101 %	1,4 / 77 %	1,06 / 58 %	
8-2	119,9	40,8	6,7	0,6	0,0	3,29 / 180 %	2,23 / 122 %	1,91 / 105 %	1,42 / 77 %	1,03 / 56 %	
2-8	113,5	23,1	31,1	0,2	0,0	2,63 / 144 %	1,63 / 89 %	1,45 / 79 %	1,16 / 64 %	0,94 / 51 %	
2-3	121,3	23,1	23,4	0,2	0,0	2,61 / 143 %	1,54 / 84 %	1,36 / 74 %	1,08 / 59 %	0,85 / 47 %	

Taulukko 3. Valaisimen 3 energiankulutus (kWh) viikossa ja energiankulutus verrattuna kyseisen valaisimen alkuperäisiin parametreihin (%). Alkuperäinen tulos korostettuna.

Läsnäoloaika (min) - Siirtymäaika (min)	Minimivalotaso (h)	Läsnäolotaso (h)	Energiansäästö (h)	Ennakointi ja oppiminen (h)	Ryhmä päällä (h)	Valotaso (%)					
						15 20 100	0 20 100	0 20 85	0 20 60	0 20 40	
											Minimitaso Energiansäästö Läsnäolotaso
1-5	151,3	2,6	13,5	0,5	0,0	1,75 / 281 %	0,42 / 66 %	0,39 / 63 %	0,36 / 58 %	0,34 / 54 %	
2-5	150,3	4,8	11,9	1,0	0,0	1,85 / 296 %	0,52 / 82 %	0,48 / 76 %	0,42 / 67 %	0,37 / 60 %	
3-5	149,4	6,8	10,4	1,5	0,0	1,93 / 309 %	0,61 / 97 %	0,56 / 88 %	0,47 / 75 %	0,41 / 65 %	
4-5	148,5	8,6	9,0	2,0	0,0	2,01 / 321 %	0,69 / 111 %	0,63 / 100 %	0,52 / 83 %	0,44 / 70 %	
5-5	147,8	9,4	8,4	2,4	0,0	2,05 / 326 %	0,74 / 118 %	0,66 / 106 %	0,55 / 88 %	0,46 / 73 %	
8-5	146,5	11,1	7,2	3,2	0,0	2,12 / 339 %	0,83 / 132 %	0,74 / 118 %	0,61 / 97 %	0,5 / 80 %	
10-5	145,9	11,7	6,8	3,6	0,0	2,16 / 344 %	0,87 / 138 %	0,77 / 123 %	0,63 / 101 %	0,52 / 83 %	
4-1	155,2	8,6	2,3	2,0	0,0	1,99 / 317 %	0,62 / 98 %	0,55 / 88 %	0,45 / 71 %	0,36 / 58 %	
4-2	153,3	8,6	4,1	2,0	0,0	2 / 318 %	0,64 / 102 %	0,57 / 91 %	0,47 / 75 %	0,39 / 61 %	
4-3	151,6	8,6	5,9	2,0	0,0	2 / 319 %	0,66 / 105 %	0,59 / 94 %	0,49 / 78 %	0,41 / 65 %	
4-4	150,0	8,6	7,5	2,0	0,0	2 / 319 %	0,68 / 108 %	0,61 / 97 %	0,51 / 81 %	0,42 / 67 %	
4-8	146,6	8,6	10,9	2,0	0,0	2,01 / 321 %	0,72 / 114 %	0,65 / 103 %	0,54 / 87 %	0,46 / 74 %	
4-10	145,6	8,6	11,9	2,0	0,0	2,02 / 321 %	0,73 / 116 %	0,66 / 105 %	0,56 / 89 %	0,47 / 75 %	
8-2	150,3	11,1	3,4	3,2	0,0	2,12 / 337 %	0,79 / 125 %	0,7 / 111 %	0,56 / 90 %	0,46 / 73 %	
2-8	147,8	4,8	14,4	1,0	0,0	1,85 / 295 %	0,54 / 87 %	0,51 / 81 %	0,45 / 72 %	0,4 / 64 %	
2-3	153,6	4,8	8,6	1,0	0,0	1,84 / 293 %	0,48 / 76 %	0,44 / 70 %	0,38 / 61 %	0,34 / 54 %	

Taulukko 4. Valaisimen 4 energiankulutus (kWh) viikossa ja energiankulutus verrattuna kyseisen valaisimen alkuperäisiin parametreihin (%). Alkuperäinen tulos korostettuna.

Läsnäolovoive (min) - Siirtymäaika (min)	Minimivalotaso (h)	Läsnäolotaso (h)	Energiansäästötaso (h)	Ennakointi ja oppiminen (h)	Ryhmä päällä (h)	Valotaso (%)					
						15 20 100	0 20 100	0 20 85	0 20 60	0 20 40	
											Minimitaso Energiansäästötaso Läsnäolotaso
1-5	112,7	2,1	38,0	0,0	15,3	1,83 / 170 %	0,83 / 85 %	0,81 / 84 %	0,79 / 81 %	0,77 / 79 %	
2-5	112,2	3,8	29,2	0,0	22,7	1,89 / 168 %	0,9 / 93 %	0,87 / 90 %	0,82 / 85 %	0,79 / 81 %	
3-5	111,9	5,4	22,4	0,0	28,3	1,96 / 167 %	0,96 / 99 %	0,92 / 95 %	0,86 / 88 %	0,8 / 83 %	
4-5	111,6	6,9	16,7	0,0	32,7	2,01 / 168 %	1,03 / 106 %	0,97 / 100 %	0,89 / 91 %	0,82 / 84 %	
5-5	111,6	7,3	15,6	0,0	33,5	2,03 / 167 %	1,04 / 107 %	0,98 / 101 %	0,89 / 92 %	0,82 / 85 %	
8-5	111,5	7,6	14,2	0,0	34,7	2,04 / 167 %	1,05 / 108 %	0,99 / 102 %	0,9 / 93 %	0,83 / 85 %	
10-5	111,4	7,7	13,9	0,0	34,9	2,04 / 167 %	1,06 / 109 %	1 / 103 %	0,9 / 93 %	0,83 / 85 %	
4-1	123,2	6,9	5,2	0,0	32,7	1,98 / 164 %	0,89 / 92 %	0,84 / 86 %	0,76 / 78 %	0,69 / 71 %	
4-2	119,4	6,9	8,9	0,0	32,7	1,99 / 165 %	0,94 / 96 %	0,88 / 91 %	0,8 / 82 %	0,73 / 75 %	
4-3	116,4	6,9	12,0	0,0	32,7	2 / 165 %	0,97 / 100 %	0,92 / 94 %	0,83 / 86 %	0,77 / 79 %	
4-4	113,8	6,9	14,5	0,0	32,7	2,01 / 166 %	1 / 103 %	0,95 / 97 %	0,86 / 89 %	0,8 / 82 %	
4-8	110,9	6,9	17,5	0,0	32,7	2,02 / 167 %	1,03 / 106 %	0,98 / 101 %	0,9 / 92 %	0,83 / 85 %	
4-10	110,5	6,9	17,8	0,0	32,7	2,02 / 167 %	1,04 / 107 %	0,98 / 101 %	0,9 / 93 %	0,83 / 86 %	
8-2	118,3	7,6	7,4	0,0	34,7	2,02 / 165 %	0,98 / 100 %	0,92 / 94 %	0,82 / 85 %	0,75 / 77 %	
2-8	110,9	3,8	30,5	0,0	22,7	1,9 / 167 %	0,92 / 94 %	0,89 / 91 %	0,84 / 86 %	0,8 / 83 %	
2-3	117,4	3,8	24,0	0,0	22,7	1,88 / 165 %	0,84 / 87 %	0,81 / 84 %	0,76 / 79 %	0,73 / 75 %	

Taulukko 5. Valaisimen 5 energiankulutus (kWh) viikossa ja energiankulutus verrattuna kyseisen valaisimen alkuperäisiin parametreihin (%). Alkuperäinen tulos korostettuna.

Läsnäolovive (min) - Siirtymäaika (min)	Minimivalotaso (h)	Läsnäolotaso (h)	Energiansäästötasotaso (h)	Ennakointi ja oppiminen (h)	Ryhmä päällä (h)	Valotaso (%)				
						15 20 100	0 20 100	0 20 85	0 20 60	0 20 40
										Minimitaso Energiansäästötasotaso Läsnäolotaso
1-5	156,5	1,5	9,8	0,3	0,0	1,69 / 393 %	0,31 / 72 %	0,3 / 69 %	0,28 / 65 %	0,26 / 62 %
2-5	156,1	2,8	8,6	0,5	0,0	1,75 / 406 %	0,36 / 85 %	0,34 / 80 %	0,31 / 72 %	0,28 / 66 %
3-5	155,7	4,0	7,6	0,7	0,0	1,8 / 417 %	0,42 / 97 %	0,39 / 90 %	0,34 / 79 %	0,3 / 70 %
4-5	155,4	5,2	6,5	0,9	0,0	1,85 / 429 %	0,47 / 109 %	0,43 / 100 %	0,37 / 85 %	0,32 / 74 %
5-5	155,2	5,4	6,3	1,1	0,0	1,86 / 432 %	0,49 / 113 %	0,44 / 103 %	0,38 / 88 %	0,33 / 76 %
8-5	154,8	6,0	5,8	1,4	0,0	1,88 / 438 %	0,51 / 119 %	0,47 / 109 %	0,4 / 92 %	0,34 / 79 %
10-5	154,8	6,2	5,6	1,5	0,0	1,89 / 440 %	0,52 / 122 %	0,48 / 110 %	0,4 / 93 %	0,34 / 79 %
4-1	160,4	5,2	1,5	0,9	0,0	1,83 / 426 %	0,41 / 96 %	0,37 / 87 %	0,31 / 72 %	0,26 / 61 %
4-2	159,1	5,2	2,8	0,9	0,0	1,84 / 427 %	0,43 / 100 %	0,39 / 90 %	0,33 / 76 %	0,28 / 64 %
4-3	157,8	5,2	4,1	0,9	0,0	1,84 / 427 %	0,44 / 103 %	0,4 / 94 %	0,34 / 79 %	0,29 / 68 %
4-4	156,6	5,2	5,4	0,9	0,0	1,84 / 428 %	0,46 / 106 %	0,42 / 97 %	0,35 / 82 %	0,3 / 71 %
4-8	155,0	5,2	7,0	0,9	0,0	1,85 / 429 %	0,48 / 110 %	0,44 / 101 %	0,37 / 87 %	0,32 / 75 %
4-10	154,8	5,2	7,2	0,9	0,0	1,85 / 429 %	0,48 / 111 %	0,44 / 102 %	0,37 / 87 %	0,33 / 76 %
8-2	158,1	6,0	2,5	1,4	0,0	1,88 / 436 %	0,48 / 111 %	0,43 / 100 %	0,36 / 83 %	0,3 / 70 %
2-8	155,4	2,8	9,4	0,5	0,0	1,75 / 406 %	0,37 / 87 %	0,35 / 82 %	0,32 / 74 %	0,29 / 68 %
2-3	158,6	2,8	6,2	0,5	0,0	1,74 / 404 %	0,34 / 78 %	0,32 / 73 %	0,28 / 65 %	0,26 / 59 %