

Tommi Palenius

SÄHKÖLÄMMITYS JA VALAISTUS – KURSSIN
LABORATORIOHARJOITUSTEN SUUNNITTELU

Sähkötekniikan koulutusohjelma
Sähkövoima- ja automaatiotekniikan suuntautumisvaihtoehto
2010



SÄHKÖLÄMMITYS JA VALAISTUS – KURSSIN LABORATORIOHARJOITUSTEN SUUNNITTELU

Palenius, Tommi
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Syyskuu 2010
Ohjaaja: Timonen, Tuomo
Sivumäärä: 23
Liitteitä: 2

Asiasanat: valaistus, energiatehokkuus, yliaallot

Tämän opinnäytetyön aiheena oli suunnitella Sähkölämmitys ja valaistus – kurssille laboratorioharjoitukset ja tehdä niihin kuuluvat työohjeet. Laboratorioharjoitusten tuli liittyä kurssin valaistusosioon. Harjoitustöiden suunnittelussa otettiin huomioon, ettei opiskelijan harjoitukseen kuluva aika saisi ylittää kahta tuntia.

Ensimmäisessä harjoitustyössä keskitytään lamppujen sähköisiin ominaisuuksiin, niiden verkkovaikutuksiin sekä energiatehokkuuteen. Mitattavina ja vertailtavina lamppuja olivat mm. hehkulamppu, energiansäästölamppu, LED ja halogeenilamppu. Mittauksista opiskelijoiden tulisi havaita, että lamput, joilla on pienempi tehokerroin, kuten energiansäästölamput, tuottavat paljon yliaaltoja ja loistehoa. Myös erittäin kiusallisen kolmannen yliaallon vaikutus nollajohtimen suhteen tulisi selvittää.

Toisessa harjoitustyössä keskitytään lamppujen valaistuspuoleen. Valaistusvoimakkuusmittauksella pyritään selvittämään opiskelijalle, mitä vaikutuksia valaistuksella on työntekoon, mitä vaatimuksia eri tiloilla on valaistuksen suhteen ja miten valaistusvoimakkuusmittaus voidaan suorittaa. Työssä vertaillaan myös eri lamppujen valotehokkuutta.

DESIGNING LABORATORY EXERCISES FOR ELECTRICAL HEATING AND LIGHTING - COURSE

Palenius, Tommi

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Electrical Engineering

September 2010

Timonen, Tuomo

Number of Pages: 23

Appendices: 2

Key Words: lighting, energy-efficiency, harmonics

The purpose of this thesis was to design laboratory exercises and their work instructions for a course on Electrical heating and lighting. The exercises were to be related to the lighting part of the course. It was taken into account that the time a student spends with an exercise should not exceed two hours.

The first exercise focuses on the electrical attributes of the light sources, their effect on the electrical network and their energy efficiency. Light sources that were measured and compared to each other were a light bulb, an energy saving lamp, a LED and a halogen lamp. From these measurements students should discover that lamps with a lower power factor, eg. energy saving lamps, produce a large quantity of harmonics and reactive power. Furthermore, the very unwanted third harmonic and its effect to neutral conductor should become apparent.

The second exercise is focused on lighting. Measuring the illuminance clarifies the effect of lighting conditions on working, shows the requirements that different spaces have considering lighting and familiarizes the students with an illuminance measurement. Furthermore, the luminous efficiency of the lamps will be compared.

SISÄLLYS

NIMIÖLEHTI

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO.....	6
2	VALAISTUKSEN SUUNNITTELU.....	7
2.1	Näkyvyys ja näkömukavuus	7
2.2	Luminanssi.....	7
2.4	Valaistusvoimakkuus	8
2.5	Varjonmuodostus	9
2.6	Häikäisy	9
2.7	Välkyntä	9
2.8	Kontrasti	10
2.9	Suosittelut valaistusvoimakkuudet työalueelle.....	10
3	VALAISTUSTEKNISET SUUREET.....	12
3.1	Valovirta	12
3.2	Valomäärä.....	12
3.3	Valovoima.....	12
3.4	Valaistusvoimakkuus	12
3.5	Valotehokkuus	13
4	VALAISIMIEN VALINTA	14
4.1	Hehkulamput.....	14
4.2	Pienloistelamput.....	15
4.3	Halogeenilamput.....	15
4.4	LED – valaisimet	15
5	VALAISTUKSEN ENERGIAATEHOKKUUS.....	17
6	VALAISTUKSEN VERKKOVAIKUTUKSET.....	18
6.1	Loisteho	18
6.2	Loistehon kompensointi.....	19
6.2.1	Valaisinkohtainen kompensointi	19
6.2.2	Valaisinryhmän kompensointi	20
6.3	Yliaallot	20
7	TYÖOHJEET	22

7.1 Työohje 1, energiatehokkuusmittaukset	22
7.1.1 Mittaukset.....	22
7.1.2 Mittausten tulkinta	22
7.2 Työohje 2, Valaistusvoimakkuusmittaus, valotehokkuus.....	23
7.2.1 Valaistusvoimakkuusmittaus.....	23
7.2.2 Valotehokkuus.....	24
LÄHTEET.....	25
LIITTEET	
Työohje 1	
Työohje 2	

1 JOHDANTO

Satakunnan ammattikorkeakoulun sähkölämmitys ja valaistus – kurssia varten tarvitaan laboratorioharjoitukset, jotka keskittyvät kurssin valaistusosioon. Laboratorioharjoitukset havainnollistavat kurssilla opittuja asioita ja syventävät opiskelijoiden tietoa valaistuksesta. Tässä työssä suunniteltiin laboratorioharjoitukset ja niihin työohjeet.

Aluksi päätettiin, että harjoitukset jaetaan sähkötekniiseen- ja valaistustekniseen harjoitukseen. Sähköteknisessä harjoituksessa tutkitaan eri lamppujen energiatehokkuutta ja verkkovaikutuksia. Pääpaino harjoituksessa on ymmärtää miksi jotkut lamput tuottavat yliaaltoja ja miten loisteho liittyy valaistukseen. Valaistusteknisessä harjoituksessa toteutetaan valaistusvoimakkuusmittaus, jonka tehtävänä on mittauksen opetteluun lisäksi tutustua eri valaistusmääräyksiin ja luksimittarin toimintaan.

2 VALAISTUKSEN SUUNNITTELU

Valaistuksen suunnittelussa tiettyyn työtilaan on hyvä tiedostaa tilassa tapahtuvan toiminnan asettamat vaatimukset ja tilan itsensä asettamat rajoitukset. Työtehtäviin sopivien näköolosuhteiden luominen työtasolle on ensisijaisen tärkeää, mutta myös ympäristön valaistus on otettava huomioon.

2.1 Näkyvyys ja näkömukavuus

Näkyvyydellä tarkoitetaan kykyä huomata ja tunnistaa kohde nopeasti, helposti ja tarkasti. Näkyvyyttä määriteltäessä tärkeintä on luminanssi, ei valaistusvoimakkuus. Näkötehtävän näkyvyys määritellään tavallisesti sen yksityiskohdan näkyvyytenä, joka tehtävän suorittamisen kannalta on vaikeimmin havaittavissa. Tällaista yksityiskohtaa kutsutaan kriittiseksi yksityiskohdaksi. Kriittisen yksityiskohdan näkyvyys kuvaa, kuinka vaikea tai helppo näön avulla on erottaa yksityiskohta taustasta tai muista sen välittömässä läheisyydessä olevista yksityiskohdista. Näkyvyyteen vaikuttavat monet tekijät, mutta ensisijaisesti hyvä näkyvyys edellyttää hyvää valaistusta. /1/

Näkömukavuus kertoo miten ihmiset hyväksyvät tilan todelliset näköolosuhteet. Eri tiloissa näkömukavuus riippuu paljolti työn vaikeuden tasosta ja näköympäristön miellyttävyydestä, koska molemmilla on merkitystä sekä työhön keskittyttäessä että rentoutumisessa. Myös henkilökohtaisilla mieltymyksillä on vaikutusta miten ihminen kokee tilan näkömukavuuden. Tällaisiin mieltymyksiin vaikuttavat esimerkiksi ikä, terveydentila ja kulttuuri. Tilan valaistusta suunniteltaessa tulisi hyvän näkömukavuuden olla aina päätavoitteena.

2.2 Luminanssi

Luminanssilla tarkoitetaan kappaleesta tai pinnasta silmiin heijastuvaa valoa. Näkökohteen ja ympäristön luminanssit ovatkin tärkeimpiä näkyvyyteen vaikuttavia tekijöitä. Ympäristön ollessa hämärä, silmä erottaa lähekkäin olevia pieniä yksityiskohtia

tai pieniä kontrastieroja kohteiden välillä huonosti. Kun ympäristön luminansseja lisätään, näkyvyys paranee. Silmän suorituskyvyllä on kuitenkin yläraja. Kun se on saavutettu, ei ympäristön näkyvyys enää parane, vaikka luminansseja lisättäisiinkin. Lisäksi suuret luminanssit tai suuret luminanssierot saattavat aiheuttaa häikäisyä. Ihmisen näköjärjestelmä pystyy käsittelemään näkö tietoa hyvin laajalla luminanssitasojen vaihtelualueella ja esimerkiksi toimistovalauksessa luminanssien vaihtelualue näkökentässä on tavallisesti hyvin pieni verrattuna näön koko sopeutumisalueeseen. /1/

Pinnan luminanssiin vaikuttavat kaksi tekijää: pinnalle tuleva valo ja pinnan heijastusominaisuudet. Pinnalle tulevaan valoon, sen määrään ja suuntaan voidaan vaikuttaa valaistuksella. Tulevan valon määrällä tarkoitetaan valaistuksen tuottamaa valaistusvoimakkuutta. Silmä aistii kuitenkin vain luminanssin. /1/

Valaistusta suunniteltaessa määritellään valaistusvoimakkuudelle taso, joka saa aikaan riittävät ympäristön luminanssit tilassa suoritettaville työtehtäville. Lisäksi suunnitelmissa on huomioitava, etteivät luminanssiarvot muodostu silmälle liian suuriksi aiheuttaakseen häikäisyä. Jotta valaistusvoimakkuudelle osattaisiin määritellä taso, on ympäristön ja näkökohteen heijastamisominaisuudet tunnettava. /1/

2.4 Valaistusvoimakkuus

Tulevan valon määrää ilmaistaan valaistuksen tuottamalla valaistusvoimakkuudella. Valaistusvoimakkuus on valaistusjärjestelmän tehokkuutta kuvaava suure. Se määrittelee määrätulle pinnalle kohdistuvan valon määrän pinta-alayksikköä kohden. Valaistusvoimakkuuden yksikkö on luks (lx). Sisävalaistuksessa käytettävät valaistusvoimakkuudet vaihtelevat yleisimmin 100–1000 lx. /2/

Kun valaistusta arvioidaan, on valaistusvoimakkuus hyvä arviointikriteeri. Valaistusvoimakkuus antaa hyvän yleiskuvan valaistuksen tasosta ja tilassa olevan valon määrästä. Valaistusta suunniteltaessa tilalle määritellään aina valaistusvoimakkuuden tavoitetaso, joka takaa tilassa tapahtuvalle toiminnolle riittävät ympäristön luminanssit.

2.5 Varjonmuodostus

Esineen muoto ja pintarakenne tulevat esille sopivan varjonmuodostuksen avulla. Varjot aiheuttavat luminanssieroja esineessä ja sen ympäristössä ja helpottavat siten muotojen tajuamista. Joidenkin näkötehtävien suorittaminen edellyttää kappaleiden muotojen erottamista ja syvyyšnäkemistä. Kolmiulotteinen näkeminen riippuu varjonmuodostuksesta, johon puolestaan vaikutetaan valon tulosuuntauksella ja sillä, miten paljon valoa eri puolille esinettä lankeaa. Jos valo tulee tasaisesti joka suunnasta, varjoja ei synny ja muodot latistuvat. /1/

2.6 Häikäisy

Häikäisy on yksi valaistuksen pahimmista epäkohdista. Häikäisyssä valaistus itsessään heikentää näköolosuhteita. Häikäisyn eri muotoja ovat suora häikäisy, heijastushäikäisy, harsohäikäisy, kiusahäikäisy ja estohäikäisy. Ne voivat esiintyä myös samanaikaisesti. Häikäisyä syntyy, jos ympäristön luminanssi on niin suuri, ettei silmä enää sopeudu siihen. Yleinen valaistuksen aiheuttama häikäisyn lähde on jokin näkökentän yksittäinen luminanssi, joka on muita luminansseja paljon suurempi. Tällainen voi olla näkökentässä sijaitseva valonlähde tai valoa voimakkaasti heijastava pinta, jolle tulee runsaasti valoa. Päivänvalo on yksi merkittävä häikäisyn aiheuttaja myös sisätyötiloissa. Häikäisy vaikeuttaa yksityiskohtien havaitsemista ja aiheuttaa epämukavuutta katselijalle. /2/

Häikäisyindeksiä UGR käytetään mitatessa keinovalon aiheuttamaa häikäisyä. Häikäisyindeksissä annetaan arvoja 5 ja 30 välillä, jolloin suurempi arvo tarkoittaa suurempaa häikäisyä. Standardissa SFS-EN 12464-1 on määritelty valaistuksen sallitut UGR – arvot, mutta käytännössä häikäisyindeksiä on hankala laskea.

2.7 Välkyntä

Silmä aistii luminanssin tai värin pienitaajuuden vaihtelun välkyntänä. Kun ärsykkeen muuttumistaajuus tulee riittävän suureksi, välkyntä häviää ja valo näyttää olevan jatkuvaa. Taajuutta, jolla perättäiset verkkokalvolle lankeavat kuvat sulautuvat täysin

yhteen, kutsutaan yhteensulautumistaajuudeksi. Yhteensulautumistaajuudella ja sitä suuremmilla taajuuksilla syntyvä aistimus vastaa jatkuvaa ärsykettä, jonka voimakkuus on sama kuin vaihtelevan ärsykkeen yhden jakson aritmeettinen keskiarvo. Välkkyvä valo voi aiheuttaa pyörivien kappaleiden kanssa vaikutelman pysähtyneestä liikkeestä ja siten tapaturmavaaran. Välkkyvä valo yhdessä välkkyvän tietokone näytön kanssa voi tuoda välkynnän ärsytyskynnyksen alapuolelle ja rasittaa silmiä. Epäsuorassa valaistuksessa valon välkyntä osuu näkökentän reuna-alueelle, jossa silmä on tavallista herkempi havaitsemaan muutoksia. Siksi epäsuorassa valaistuksessa on suositeltavaa käyttää valonlähteitä ja liitäntälaitteita, jotka poistavat välkynnän. /2/

2.8 Kontrasti

Kontrasti on kohteen ja sen taustan luminanssien erotuksen suhde taustan luminanssiin. Luminanssikontrasti K määritellään kaavassa:

$$K = \frac{|L_2 - L_1|}{L_1}$$

L_1 on taustan luminanssi

L_2 on näkökohteen luminanssi

Näkemisen kannalta kontrastilla on suuri merkitys, koska näkeminen perustuu luminanssi- ja värierojen havaitsemiseen.

2.9 Suositellut valaistusvoimakkuudet työalueelle

Valaistusstandardissa esitetyt valaistusvoimakkuuden arvot on tehty tavanomaisille näköolosuhteille ja niissä on otettu huomioon seuraavat tekijät:

- psykologiset ja fysiologiset tekijät, kuten näkömukavuus ja hyvinvointi
- näkötehtävälle asetettavat vaatimukset
- näköergonomia

- käytännön kokemus
- turvallisuus
- taloudellisuus

Valaistusvoimakkuusarvoa voidaan muuttaa vähintään yhden portaan verran valaistusvoimakkuusasteikolla, mikäli näköolosuhteet poikkeavat tavanomaisista.

Kerroin suuruudeltaan n. 1,5 edustaa pienintä subjektiivisesti havaittavaa valaistusvoimakkuuseroa. Tavallisissa valaistusolosuhteissa vaaditaan n. 20 lx, jotta kasvopiirteet voidaan juuri ja juuri tunnistaa. Tämä on otettu asteikon alhaisimmaksi arvoksi. Suositeltu valaistusvoimakkuusasteikko (yksikkönä lx) on:

20 – 30 – 50 – 75 – 100 – 150 – 200 – 300 – 500 – 750 – 1000 – 1500 – 2000 – 3000 – 5000

Vaadittua valaistusvoimakkuuden arvoa voidaan suurentaa, kun:

- näkötehtävä on kriittinen
- virheet aiheuttavat suuria kustannuksia
- tarkkuus tai korkea tuottavuus ovat tärkeitä
- työntekijän näkökyky on keskimääräistä alhaisempi
- näkökohteen yksityiskohdat ovat poikkeuksellisen pieniä tai kontrastit alhaisia
- työtehtävää suoritetaan poikkeuksellisen pitkäkestoisesti.

Vaadittua valaistusvoimakkuuden arvoa voidaan pienentää, kun:

- näkökohde on poikkeuksellisen suuri tai sen kontrastit ovat korkeat
- työtehtävää suoritetaan poikkeuksellisen lyhytaikaisesti.

Tiloissa, joissa työskennellään jatkuvasti, valaistusvoimakkuuden on oltava vähintään 200 lx. /3/

3 VALAISTUSTEKNISET SUUREET

3.1 Valovirta

Valovirran tunnus Φ ja sen yksikkö on lumen (lm). Valovirta kuvaa valonlähteen silmän herkkyyden mukaan painotettua säteilytehoa. Tämän säteilytehon yksikkö on watti (W), ja sitä käytetään yleisesti lamppujen valotehoa ilmoitettaessa. /4/ Yksinkertaistaen sanottuna valovirta on silmän spektriherkkyydellä painotettu valonlähteen näkyvän valon alueen säteilyteho. /6/

3.2 Valomäärä

Valomäärän tunnus on Q ja sen yksiköt on lumensekunti (lms) ja lumentunti (lmh). Valomäärä saadaan kun tietty valovirta lasketaan sen säteilyajalla eli $Q = \Phi \cdot t$. Yksikkö on joule (J). /4/

3.3 Valovoima

Valovoiman tunnus on (I) ja sen yksikkö on kandela (cd). Valovoima kuvaa valon lähteen voimakkuutta, kuten valovirtakin, mutta käytännön ero on siinä, että valovoima on tietyn alan valonvoimakkuus jollakin valolähteellä, kun taas valovirta kertoo valonlähteen voimakkuutta kokonaisuudessaan. /4/

3.4 Valaistusvoimakkuus

Valaistusvoimakkuuden tunnus on (E) ja sen yksikkö on luks (lx). Valaistusvoimakkuus on valovirran suhde pinta-alaan. Yksi luks kuvaa neliömetrin pinnalle tulevan yhden lumenin valovirtaa. Eli $1 \text{ lx} = 1 \text{ lm/m}^2$. /4/

3.5 Valotehokkuus

Valotehokkuuden yksikkö on yksi lumen wattia kohden (lm/w). Valotehokkuus kuvaa valovirran suhdetta sen kuluttamaan sähkötehoon. Esimerkiksi kuinka hyvin hehkulamppu muuttaa sähköenergiaa valoksi. /5/

4 VALAISIMIEN VALINTA

Valaisimien valinta tulisi tehdä huolella, jotta valaistustulos ja valaistuksen hyötysuhde olisi mahdollisimman hyvä ja käyttötarkoitukseen sopiva. Hyötysuhteeseen ei kuitenkaan kannata kiinnittää pelkästään huomiota, koska valaisimien oikealla valinnalla ja huolellisella sijoituksella voidaan vähentää kuvastumisia näkökohteesta tai parantaa kontrastinmuodostusta. Näkömukavuudesta ei tulisikaan tinkiä energiatehokkuuden takia.

Myös silloin, kun valaistusta suunniteltaessa ainoastaan pyritään toteuttamaan standardien tilalle edellyttämä minimivalaistusvoimakkuus eikä kiinnitetä huomiota siihen, että ihminen tarvitsee valoa, tulee ongelmia. Ihminen väsy helposti liian vähäisessä valossa, ja nykyään jo Suomen terveydenhuollossakin näkyy työraisuuden ja väsymyksen taakka.

4.1 Hehkulamput

Hehkulampan valontuotto perustuu hapettomassa tilassa olevan hehkulangan kuumentamiseen sähkövirralla niin korkeaan lämpötilaan, että lanka alkaa säteillä valoa. Hehkulamput tuottavat näkyvän valon lisäksi runsaasti myös infrapunasäteilyä. /6/

Hehkulamput ovat edelleen käytetyimpiä keinovalonlähteitä, mutta nykyään niiden käyttöä pyritään vähentämään ja siirtymään uudempaan valaisutekniikkaan. Tämä liittyy EU-tasolla säädettyyn direktiiviin, joka poistaa hehkulamput markkinoilta vuoteen 2012 mennessä.

4.2 Pienloistelamput

Pienloiste- eli energiansäästölamput ovat yleensä loisteputken toimintaperiaatteella tehtyjä kierrekantaisia lamppuja. Lamppu koostuu loisteputkiosasta joka on usein spiraalimainen, sekä ohjauselektroniikasta. Nämä lamput kuluttavat vain noin viidennesen energiaa hehkulamppujen vastaavasta. Täten niiden valotehokkuus voi olla jopa nelin- tai viisinkertainen verrattuna hehkulamppuun käyttöiän ollessa 12000–15000 tuntia. Väriämpötila on valtaosalla energiansäästölamppuista samaa luokkaa kuin hehkulamppuilla, mutta myös kylmempiä vaihtoehtoja löytyy. /6/

4.3 Halogeenilamput

Halogeenilamput voidaan jakaa rakenteellisesti kolmeen osaan:

- kaksikantaiset verkkojännitelamput
- yksikantaiset verkkojännitelamput
- pienoisjännitelamput (useimmiten 12 voltia)

Halogeenilamput ovat pitkäikäisempiä, energia-, ja valotehokkaampia kuin hehkulamput. Halogeenilampun suojakupu on täytetty hehkulamppuun tavoin suojakaasuilla, mutta näitä kaasuja on jatkettu halogeeneilla, yleisimmin jodi- tai bromikaasulla. Halogeenilampun toiminta perustuu samaan ilmiöön kuin hehkulamppunkin toiminta, mutta lamppuissa käytetään hyväksi halogeenien kykyä palauttaa volframiatomit höyrystyttyään takaisin hehkulankaan, jolloin saadaan suurempi hehkulangan lämpötila, väriämpötila ja valotehokkuus. Tätä ilmiötä kutsutaan halogeenikiertoprosessiksi sen toistuvan kierron vuoksi. Halogeenilamput voivat olla noin 30 % energiatehokkaampia ja polttoikänsä viisinkertaisia hehkulamppuihin verrattuna. /6/

4.4 LED – valaisimet

Led eli loistediodi on puolijohdekomponentti, joka säteilee valoa. Ledejä on käytetty jo kauan elektronisissa laitteissa merkinantolaitteina, mutta nykyään valkoisen ledin keksimisen jälkeen ledit ovat yleistyneet paljon valaistuksessa. Ledien valoteho vaihtelee niiden värin mukaan. Valaistuksessa käytetyllä valkoisella ledillä valoteho on

18 – 87 lm / W luokkaa. Ledit tarvitsevat toimiakseen joko tasavirtaa tai -jännitettä. Tätä varten niille on kehitetty omat liitäntälaitteensa, joissa on tarvittavat suojaukset oikosulkua, ylikuormitusta ja yllämpäämistä vastaan. /6/

5 VALAISTUKSEN ENERGIATEHOKKUUS

Rakennuksien sähköenergiaa voidaan säästää oikealla valaistuksella. Valaistuksen energiataloudellisuuteen vaikuttavat valaistustapa, lamppujen, liitäntälaitteiden ja valaisimien tehokkuus, asennuksen joustavuus ja muunneltavuus sekä valaistuksen tarpeenmukainen käyttö. Tilassa käytettäviä lamppuja tulee voida sytyttää ja sammuttaa valaistustarpeiden mukaan. Valaistuksen käytössä tulisi ottaa huomioon päivänvalon hyödyntäminen ja tilan toiminnan edellyttämät muutokset. Hyvä valaistus pienentää myös työn aiheuttamaa psyykkistä ja fyysistä kuormitusta ja vaikuttaa siten edullisesti työtehoon. /2/

Energiatehokkuuskysymys lamppujen osalta tulee myös vahvasti esille nyt, kun siirtyminen hehkulamputa energiansäästölamppuihin ja ledeihin on käynnissä. Toisin kuin hehkulamput, energiansäästölamput ja ledit kuluttavat pätötehon lisäksi myös loistehoa, joka aiheuttaa verkossa jännitteen nousua ja tehohäviöitä. Loistehoa tarvitaan magneettikentän luomiseen, mutta varsinaisen työn tekee pätöteho. Tämä voi vaikuttaa esimerkiksi halvalla tekniikalla toteutetun energiansäästölamputon tehon nousuun niin suureksi, ettei lamppu enää ole energiaa säästävä verrattuna esim. hehkulamppuun. Tässäkin on toki otettava huomioon, että yksityiset henkilöt ja kotitaloudet eivät joudu maksamaan loistehosta, mutta loistehon määrän lisääntyessä verkon kuormitus tulee todennäköisesti kasvamaan huomattavasti, mikä taas vaikuttaa sähkön hinnan kasvuun.

6 VALAISTUKSEN VERKKOVAIKUTUKSET

6.1 Loisteho

Eräät kulutuslaitteet tarvitsevat toimiakseen pätötehon P ohella myös loistehoa Q . Tällaisia laitteita ovat esim. moottorit, purkauslamput ja muuntajat. Näissä laitteissa varsinaisen työn tekee pätöteho ja loistehoa tarvitaan magneettikentän ylläpitämiseen. Pätö- ja perustaajuinen loisteho yhdessä muodostavat näennäistehon S . Sähköverkko eli mm. kaapelit, muuntajat ja kytkinlaitteet mitoitetaan kokonaisvirran mukaan, joka sisältää loistehon syntyyn tarvittavan virtakomponentin. Loistehon tarve lisää komponenttien virtarasituksia ja tätä kautta muita rasituksia ja kuormia (mm. lämpeneminen). /8/

Kuorman tarvitsema loisteho voidaan tuottaa paikallisesti kuorman läheisyyteen sijoitettavalla kompensointikondensaattorilla. Tällöin vältetään siirtämästä perustaajuista loistehoa sähkönjakeluverkosta, jolloin säästynyt kapasiteetti voidaan käyttää varsinaisen pätötehon kasvattamiseen. /8/

Yleisissä sähkönjakeluverkoissa on havaittavissa yliaaltojännitteiden (jännitesärön) määrän jatkuva kasvaminen yleisenä ilmiönä. Syynä tähän on yliaaltoja synnyttävien epälineaaristen kuormitusten määrän jatkuva lisääntyminen. Epälineaariset kuormat, kuten tietokoneet, ottavat verkosta tai syöttävät verkkoon perustaajuisesta sinikäyrästä poikkeavia virtoja, jotka aiheuttavat verkon impedansseissa perustaaajuudesta poikkeavia jännitteitä (jännitesäröä). Toisaalta säröytynyt jännite aiheuttaa sinimuodosta poikkeavia virtoja lineaarisillakin kuormituksilla. Myös resonanssi-ilmiöt voivat merkittävästi suurentaa yleisessä jakeluverkossa ja liittyjän omassa verkossa esiintyviä yliaaltoja. /8/

Yliaallot vaikuttavat kuormituksen ottamaan kokonaisvirtaan. Tuotettaessa perustaajuista loistehoa kompensoinnilla on huomioitava verkon yliaallot kompensointitapaa

ja -laitetta valittaessa. Yliaaltojännitteet ovat osa jännitteen laatua, jonka alin sallittu taso on määritelty standardissa SFS-EN 50160 Yleisen jakeluverkon jakelujännitteen ominaisuudet. /8/

6.2 Loistehon kompensointi

Kompensointilaitteisto voidaan sijoittaa verkkoon usealla eri tavalla. Eri kompensointitapoja ja niiden käyttökohteita on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Kompensointitavan valintataulukko käyttökohteen mukaan

Kompensointitapa	Käyttökohde						
	Valaisimet	Moottorit	Valaisinryhmät	Moottoriyhmät	Ryhmäkeskukset	Pääkeskukset	Yksittäiset kuormitukset
Laitekohtainen kompensointi	X	X					X
Ryhmäkompensointi			X	X			
Keskitetty kompensointi					X	X	
Keskitetty kompensointi yliaaltopitoisessa verkossa					X	X	
Keskitetty kompensointi ja yliaaltojen suodatus					X	X	
Keskitetty, nopea kompensointi tyristorikytetyllä paristolla					X	X	X
Kompensointi ja suodatus aktiivisuodattimella					X	X	X

/8/

6.2.1 Valaisinkohtainen kompensointi

Valmistajat asentavat nykyisin purkausvalaisimiin kondensaattorin, joka kompensoi valaisimen tehokertoimen ($\cos \varphi$) 0,9:ään. Näissä valaisimissa jää loistehoa kompensoitavaksi 0,48 kvar/kW. Kompensoinnin avulla vältytään maksamasta loisteho-

maksuja. Loistehomaksuja käsitellään ST-kortissa 52.15 “Loistehon kompensointi pienjänniteverkossa ($UN < 1000 \text{ V}$)” kohdassa 3.3. /8/

Mikäli valaisimet ovat sellaista tyyppiä, jotka tuottavat yliaaltoja, on parempi käyttää kompensoimattomia valaisimia. Tällöin vältetään resonanssilta syöttävän verkon ja valaisimissa olevan yhteisteholtaan suuren kondensaattorimäärän kanssa. Resonanssi saattaa vahvistaa valaisimen tuottamat yliaallot ja aiheuttaa ennakoimatonta termistä rasitusta keskuksille ja ryhmäkaapeleille. Tällaisissa tapauksissa kompensointi kannattaa toteuttaa keskitetysti. /8/

6.2.2 Valaisinryhmän kompensointi

Ryhmäkompensointi soveltuu parhaiten 3-vaiheisten kontaktoriohjattujen purkausvalaisinten kompensointiin. Tällöin kompensointiyksikkö koostuu 3-vaiheisista 400 V kondensaattoreista, jotka sijoitetaan valaisinkuormituksen painopisteeseen valaisinten ketjutukseen. Kompensointiyksikön liitännän on tällöin oltava ketjutukseen soveltuva. Mikäli kompensointiyksikkö sijoitetaan ryhmäkeskusten yhteyteen tai ryhmäjohton varrelle, on otettava huomioon, että ryhmäjohtoa suojaavan sulakkeen kautta kulkee mahdollisesti huomattavasti pienempi virta kuin ryhmäjohtossa. Eri valaisinryhmien kompensointitehot summataan kokonaiskompensointitarpeen selvittämiseksi. Mikäli useita 3-vaiheisia valaisinryhmiä sytytetään ja sammutetaan samanaikaisesti, voidaan tällaisille ryhmille kytkeä yhteinen kompensointiyksikkö, joka kytkeytyy samanaikaisesti valaisinten kanssa. /8/

6.3 Yliaallot

Valaisimet, ja muut sähkölaitteet, jotka ottavat verkosta säröytynyttä virtaa synnyttävät sähköverkkoon harmonisia parittomia yliaaltovirtoja eli 50 Hz monikertoja: 3. (150 Hz), 5. (250 Hz), 7. (350 Hz) jne. Näitä virtoja nimitetään epälineaariseksi virraksi eli harmonisiksi yliaaltovirroiksi. Harmoninen yliaaltovirta synnyttää verkon

impedansseissa harmonisia yliaaltojännitteitä, joiden summaa kutsutaan kokonaisjännitesäröksi THD (Total Harmonic Distortion). /9/

Yliaallot voivat olla myös haitallisia herkille elektronisille laitteille, koska ne voivat aiheuttaa sähköverkon häiriötä ja näin vaikuttaa esimerkiksi jännitteen tasaisuuteen. Laitteet, jotka eivät kestä jännitteen vaihtelua hyvin, ovatkin herkkiä yliaalloille.

7 TYÖOHJEET

Työohjeet keskittyvät kurssin valaistuspuoleen ja ne on selvästi jaoteltu sähkö- ja valaistustekniseen puoleen. Aikataulun suhteen pyrittiin siihen, että mittauksien tekemisessä ja tuloksien tulkinnassa tulisi aikaa kulua noin kaksi tuntia.

Mittauksiin vaikuttaviin tekijöihin, kuten verkkojännitteen stabiilisuuteen, lamppujen ikään ja ympäristön lämpötilaan, ei olla kiinnitetty huomiota, koska mittaukset tapahtuvat sellaisina ajankohtina, jolloin näihin tekijöihin ei voi vaikuttaa.

7.1 Työohje 1, energiatehokkuusmittaukset

Tämä työohje (liite 1) keskittyy valaistuksen sähkötekniiseen puoleen ja pääpaino on energiatehokkuudessa ja valaistuksen verkkovaikutuksissa.

7.1.1 Mittaukset

Mittausosuus työssä koostuu kahdesta mittauksesta. Ensimmäisen mittauksen tarkoituksena on selvittää lampuista saatavat suureet kuten virta (myös kuva virran käyrämuodosta), jännite, näennäisteho ja pätöteho. Mittaus myös opettaa opiskelijaa käyttämään ”Fluke 43 b power quality analyzer” -mittaria.

Toinen mittaus keskittyy pelkästään kolmanteen yliaaltoon, jota yleisesti pidetään kaikkein haitallisimpana. Haitallisen kolmannesta yliaallosta tekee, että se summautuu nollajohtimeen, jonka virta voi nousta todella korkeaksi.

7.1.2 Mittausten tulkinta

Eri lampuista saatuja tuloksia vertailemalla voidaan todeta, että energiansäästölampeilla ja ledeillä on todella matala tehokerroin. Myös virran käyrämuodosta voidaan

nähdä, että virta on todella säröytynyttä. Nämä vaikuttavat siihen, että lamput tuottavat verkkoon yliaaltoja ja kuluttavat pätötehon lisäksi paljon loistehoa. Mitattu teho vastasi valmistajan ilmoittamaa nimellistehoa hyvin.

Mitatessa kolmea N merkkistä 11W energiansäästölamppua huomataan, että kolmas yliaalto summautuu kolminkertaisesti verrattuna yhden vaiheen 150 Hz virtaan.

Opiskelija joutuu myös pohtimaan, miten tulevaisuudessa lisääntyvät ledit ja energiansäästölamput vaikuttavat sähkönhintaan ja tuleeko kotitalouksille tarve kompensoida loistehoa. Tällä hetkellä tarvetta ei ole, koska loisteho ei ole kotitalouksilla laskutettavaa.

7.2 Työohje 2, Valaistusvoimakkuusmittaus, valotehokkuus

Tämä työohje (liite 2) keskittyy valaistuksen valotekniseen puoleen ja pääpaino on valaistusvoimakkuuden ja valotehokkuuden selvittämisessä.

7.2.1 Valaistusvoimakkuusmittaus

Harjoituksen tarkoituksena on, että opiskelija ymmärtää, miten valaistus vaikuttaa tilaan ja miten eri työtehtäville on asetettu määräykset valaistuksen määrästä. Opiskelija myös oppii, miten toteuttaa valaistusvoimakkuusmittaus ja millaista mittaria siinä voidaan käyttää. Työssä käytetään ”TES-1336A Datalogging Light Meter” –mittaria.

Mitattavaksi tilaksi valittiin Ammattikorkeakoulun sähkölaboratorion perällä oleva matalampi tila, joka demonstroi toimistotilaa. Päivänvalon vaikutus mittaustuloksiin minimoidaan sulkemalla kaihtimet. Standardissa SFS-EN 12464-1 on määritelty toimistotilojen valaistustehokkuuden vaatimukset, joihin mitattua tulosta verrataan.

Tila (11m * 7,5m) jaettiin neliömäisiin 0,5m * 0,5m ruutuihin. Muodostuvaan ruudukkoon piirrettiin valmiiksi valaisimet. Mittauspisteiden lukumäärä selvitetään laskemalla huoneindeksi k, jonka jälkeen mittauspisteet sijoitetaan ruudukkoon niin, etteivät ne sijaitse säännöllisesti valaisimiin nähden eivätkä suoraan valaisimien alla. Huoneindeksiä laskiessa opiskelija joutuu mittaamaan valaisimen etäisyyden työtasosta. Mittauspisteitä tilaan tulee 16.

Tuloksista voidaan lukea, että tila sopii kaikkiin muihin toimintoihin paitsi tekniseen piirtämiseen.

7.2.2 Valotehokkuus

Harjoituksen tarkoituksena on ymmärtää, että lamppujen valontuottoa ei voi enää vertailla vain wattien perusteella. Wattimäärä kertoo ainoastaan sähkönkulutuksesta. Valotehokkuus kertoo valonlähteestä saadun valomäärän suhteessa käytettyyn sähkötehoon.

Vertailtavaksi valittiin sellaisia lamppeja, että valotehokkuuden erot olivat suuria.

LÄHTEET

/1/ Sähkötieto ry. ST 58.06 Valaistuksen tavoitteet ja valaistuksen tavoitteiden toteutus. Laadittu 2006-06-15.

/2/ Sähkötieto ry. ST 58.04 Valaistus, yleisohjeet. Laadittu 2003-10-15.

/3/ Standardi SFS-EN 12464-1, Valo ja valaistus. Työkohteiden valaistus. Osa 1: sisätilojen työkohteiden valaistus. Suomen Standardoimisliitto SFS. Sesko ry.

/4/ Suomen sähköurakoitsijaliitto ry. Suomen valoteknillinen seura ry. Valaistuksen laskenta, mittaukset ja huolto. 1. Painos. Jyväskylä: Gummerus kirjapaino Oy, 1996. 301 s.

/5/ Rihlana, Seppo. Valaistuksesta sisätiloissa. 1. Painos. Vantaa: Painopaikka Vantaa, 1993. 75 s.

/6/ Halonen, Liisa. Lehtovaara, Jorma. Valaistustekniikka. Jyväskylä: Gummerus kirjapaino Oy, 1992. 183 s.

/7/ Saarenmaa, Jani. Energiätehokkaan valaistuksen ja KNX – kiinteistöautomaatiojärjestelmän suunnittelu Satakunnan ammattikorkeakoulussa [Verkkodokumentti]. [Viitattu 24.9.2010]. Saatavissa:

https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/14775/Saarenmaa_jani.pdf?sequence=1

/8/ Sähkötieto ry. ST 52.15 Loistehon kompensointi pienjänniteverkossa. Laadittu 2004-12-15.

/9/ Sähkötieto ry. ST 52.51.03 Sähkön laatu. Harmoniset yliaallot. Laadittu 2006-05-15.

LAMPPUJEN ENERGIATEHOKKUUSMITTAUKSET

Valaistukseen käytetään arviolta yli kymmenesosa Suomen sähkövarannoista. Monessa kotitaloudessa valaistus voi toimia jopa suurempana sähkökuluttajana kuin useimmat kodin muut sähkölaitteet. Kotitalouksien lisäksi suurta osaa valaistuksen energian kulutuksessa näyttelevät myös monet julkiset laitokset, kuten koulut ja sairaalat, joissa valaistusta tarvitaan tyypillisesti jopa 24 tuntia vuorokaudessa. Tähän kulutukseen saataisiin merkittävää säästöä, jos valaisimet vaihdettaisiin valojakamaltaan tehokkaampiin ratkaisuihin. Esimerkiksi kuluttajan kannalta tämä olisi helppointa toteuttaa markkinoilla olevilla energiansäästölamppuilla, sillä monet niistä soveltuvat suoraan vanhan lampputyypin tilalle. Suurempaa energiansäästöä tavoiteltaessa tulisi ottaa huomioon, että valaistuksen energiankulutus on kiinni monista eri seikoista, kuten lamppuista, valaisimista, ohjaustekniikasta, liitäntälaitteista ja valaisimien sijoittelusta. /1/

Tämän työn tarkoituksena on tutustua eri lamppujen energiatehokkuuteen, ymmärtää valaistuksen vaikutus loistehon tuotantoon sekä huomioida lamppujen ja yliaaltojen suhde. Huomiota tulisi kiinnittää erityisen harmilliseen kolmanteen yliaaltoon.

LAITTEISTO

Mittauksessa käytettävät lamput:

Nimi	Teho [W]	Tyyppi
Osram	60	Hehkulamppu
Airalite	11	Energiansäästölamppu
N – energiansäästölamppu	11	Energiansäästölamppu
Emax	9	Energiansäästölamppu
Gu 10 + C	50	Halogeneeni
N – led	1.5	Led-lamppu

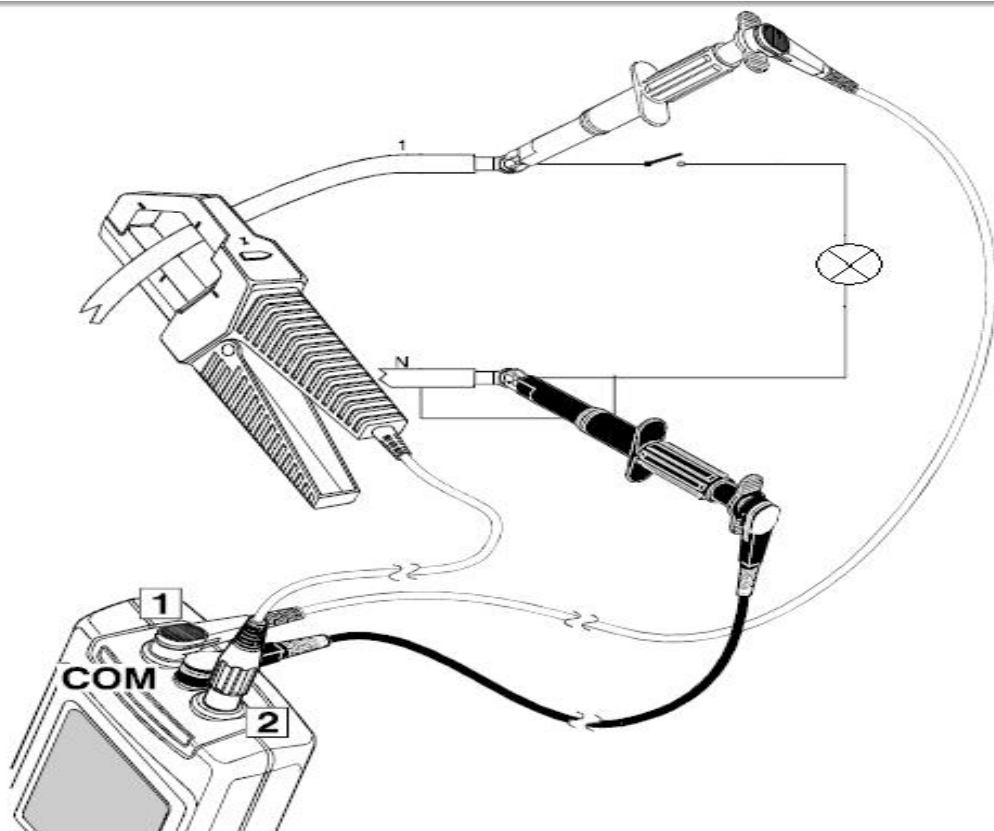
MITTAUKSET

Mittauslaitteena käytetään ”Fluke 43 b power quality analyzer” -mittaria. Tutustu huolellisesti mittarin käyttöohjeeseen. Ennen mittauksien aloittamista anna lamppujen palaa n. 5 minuuttia, jotta lampun lämpötila ei vaikuta mittaustuloksiin. Mittauksia suorittaessa olisi hyvä valita ajankohta, jolloin ei sähkölaboratoriossa ole mittausta häiritseviä tekijöitä kuten taajuusmuuttajakäyttöjä tai muita sähkökoneita.

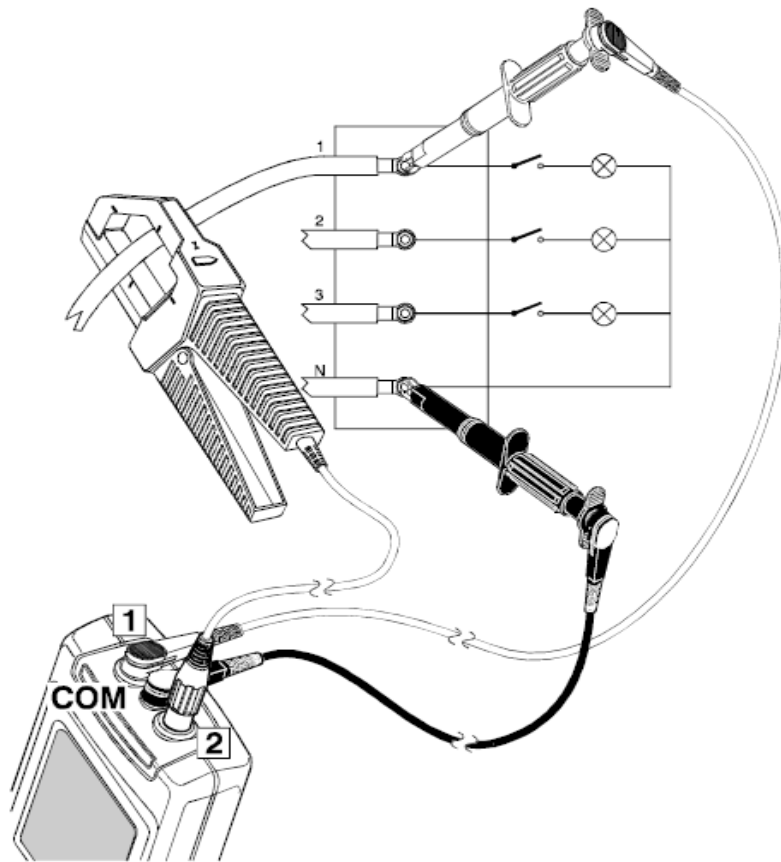
1. Tee kuvan 1 mukainen mittauskytkentä ja mittaa jokaisesta lampusta seuraavat suureet: pätöteho [W], näennäisteho [VA], loisteho [VAR], tehokerroin [PF], virta [A] (kuva virran käyrämuodosta), jännite [U] ja 3. yliaalto [%].
2. a.) Mitä voidaan energiansäästölamppujen tehokertoimista todeta kun niitä vertaillaan halogeneeni- ja hehkulamppujen tehokertoimiin? Entä Led-lampusta?

- b.) Miten tehokerroin vaikuttaa lampun loistehoon?
3. Pohdi keinoja kompensoida loistehoa? Onko kompensoinnille tarvetta kotitalouksien valaistuksessa?
 4. Vastaako mitattu teho valmistajien ilmoittamia nimellistehoja?
 5. Miten energiansäästölamppujen virran käyrämuoto eroaa hehkulampun vastaavasta? Miten se vaikuttaa virran käyrämuotoon aiheutuviin yliaaltoihin?
 6. Tee kuvan 2 mukainen mittauskytkentä, jossa käytetään kolmea N merkkistä 11 W lampua, ja mittaa jokaisen vaiheen ja nollajohtimen yliaallot. Tarkastele kolmatta yliaaltoa ja miten se näkyy nollajohtimessa.

Kuva 1. Fluke 43 B yksivaiheinen kytkentä. /2/



Kuva 2. Fluke 43 B kolmivaiheinen kytkentä. /2/



LÄHTEET

/1/ Motiva, Enää ei auta viivytellä [Verkkodokumentti]. [Viitattu 4.9.2010]. Saatavissa:

http://www.motiva.fi/files/2096/Valaistusta_on_uusittava_Tarkeaa_tietoa_kuntien_paaattajille.pdf

/2/ Fluke Finland Oy. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 4.9.2010]. Saatavissa:

<http://www.fluke.fi/comx/manuals.aspx?locale=fifi&pid=115>

VALAISTUSTEHOKKUUSMITTAUS

Valo on ehdoton edellytys ihmisen toiminnalle. Ihminen on kehittänyt keinovalaistusta voidakseen toimia ja nähdä silloinkin, kun auringon valoa ei ole käytettävissä. Keinovaloa on monenlaista ja siksi valaistussuunnittelun tärkein ohjaavin tekijä onkin se, millaisen valaistuksen asiakas kokee miellyttävimpänä eri käyttötilanteisiin nähden. Kysymykseen ei ole yhtä ja ainutta oikeaa vastausta, koska ihmisen emotionaalinen ja subjektiivinen ympäristön kokeminen on jokaisella hieman erilainen./1/

Valon vaikutusta ihmiseen on tutkittu suhteellisen vähän, kun huomioidaan sen vahva merkitys ihmiselle. Eri valaistuksen osa-alueilta on laadittu standardeja, jotka määrittelevät valaistuksen tasoja esimerkiksi juuri työtiloissa, jolloin valaistuksen tulee olla hyvää, heijastamatonta ja varjoa hajottavaa./1/

Taulukossa on esitetty standardissa SFS-EN 12464-1 määritellyt toimistotilojen valaistustehokkuuden vaatimukset.

Tila, toiminto	Etyöalue [lx]	Elähiympäristö [lx]	UGR	Ra
Kirjoittaminen, lukeminen, tietojenkäsittely	500	300	19	80
Tekninen piirtäminen	750	500	16	80
CAD-työasemat	500	300	19	80
Arkistot	200	200	25	80
Vastaanotto	300	200	22	80

Valaistusvoimakkuus [lx]

Kiusahäikäisy (UGR)

Väritoistoindeksi (Ra)

Välitön lähiympäristö käsittää työaluetta ympäröivän 0,5m levyisen kaistaleen.

Tämän valaistusvoimakkuusmittauksen tarkoituksena on testata, täyttääkö tilassa oleva valaistus siltä vaaditut arvot tietyissä toimissa.

MITTAUKSEN JÄRJESTELYT

Mittauspaikkana toimii Satakunnan Ammattikorkeakoulun sähkölaboratorion perällä oleva matalampi tila (11,0m * 7,5m). Mittauksen aika tulee sälekaihtimien olla kiinni, jotta ulkoa tulevan luonnonvalon vaikutus mittaukseen saadaan minimoitua.

Mittarina käytetään ”TES-1336A Datalogging Light Meter” -mittaria.

Mittauspisteiden määrä selvitetään huoneindeksin k mukaan.

$$k = \frac{lw}{(l+w)h_m}$$

jossa

l = huoneen pituus (m)

w = huoneen leveys (m)

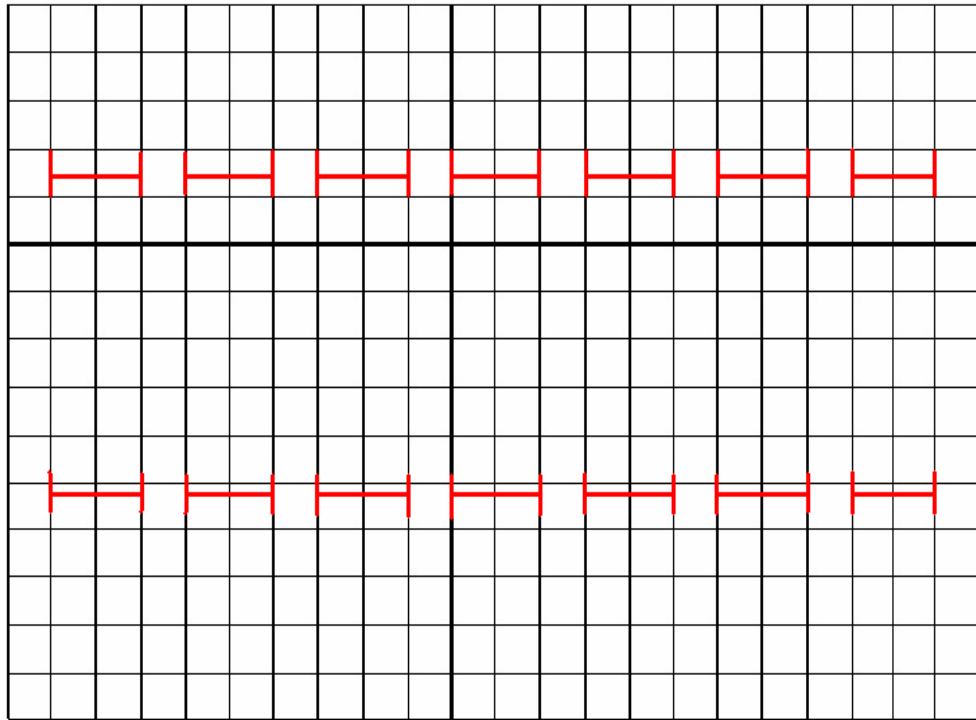
h_m = valaisimien asennuskorkeus työtasolta mitattuna (m)

k = huoneindeksi

Mittauspisteiden määrä huoneindeksin mukaan.

Huoneindeksi	Mittauspisteiden lukumäärä
$k < 1$	4
$1 \leq k < 2$	9
$2 \leq k < 3$	16
$3 \leq k$	25

Tilasta on luotu mittausruudukko, jossa yksi ruutu vastaa 0,5m * 0,5m aluetta. Ruudukkoon on valmiiksi piirretty valaisimien paikat.



MITTAUS

Mittaukset tehdään asettamalla ”TES-1336A Datalogging Light Meter” -mittari työtasolle niin, ettei se ole aivan suoraan valaisimen alla. Näin mittaustuloksiin ei tule keskiarvoa nostavia arvoja, jotka johtuvat suoraan mittariin osuvasta valosta.

Piirrä mittauspisteet ruudukkoon siten, etteivät ne sijaitse säännöllisesti valaisimiin nähden.

Katso saaduista arvoista suurin ja pienin arvo sekä laske valaistusvoimakkuuden keskiarvo.

Sopiiko tila kaikkiin edellä mainittuihin toimistotilojen toimintoihin?

VALOTEHOKKUUS

Valotehokkuus kertoo valolähteestä saadun valomäärän suhteessa käytettyyn sähkötehoon. Nykypäivänä ei voida enää vertailla pelkästään watteja vaan on tiedostettava, että pienelläkin sähkönkulutuksella voidaan tuottaa suuri määrä valoa.

Laske seuraavasta taulukosta jokaisen lampun valotehokkuus.

Nimi	Teho [W]	Valovirta [lm]	Merkki
Osram	60	710	Hehkulamppu
MarcS-GU10	1.5	130	LED
XMT-SL-001BL	1.5	35	LED
N – energiansäästölamppu	20	1200	Energiansäästölamppu
SC-Saver	9	450	Energiansäästölamppu

LÄHTEET

/1/ Zeeta Oy, Millaisen valaistuksen haluan? [Verkkodokumentti]. [Viitattu 17.9.2010]. Saatavissa: <http://www.zeeta.fi/Valaistussuunnitelma/Millainen/>