



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Joni Ropponen

Eri valaisinratkaisut LED-tekniologian näkökulmasta

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)
Talotekniikan tutkinto-ohjelma
Insinöörityö
31.10.2019

Tekijä Otsikko	Joni Ropponen Eri valaisinratkaisut LED-tekniikan näkökulmasta
Sivumäärä Aika	35 sivua 31.10.2019
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Talotekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine	Sähköinen talotekniikka
Ohjaajat	Lehtori Matti Sundgren
<p>LED-tekniikka on ollut valaistusalan yksi isoimmista läpimurroista. Siitä kertonee vuoden 2014 Nobel-palkinto, joka myönnettiin LED-tekniikan tutkijalle. Viime vuosisadan alussa keksitty tekniikka on kulkenut pitkän tien, elektroniikan merkivaloista aina tv-ruutuihin ja öljynporauslaittojen valaistuksiin. LED-tekniikkaa löytyykin nykyään jokaisesta suomalaisesta kodista, johon sähkö tulee.</p> <p>Asetukset ja direktiivit ovat asettaneet kapuloita termisten säteilijöiden rattaisiin ja kirkastaneet LED-tekniikan tietä. Kasvava ympäristötietoisuus on myös osaltaan tasoittanut energiapihien LED-lamppujen tietä.</p> <p>Tutkielmassa tarkastellaan eri valaisinratkaisuja erityisesti LED-tekniikkaan perehtyen. Tutkimuksen tuloksina ovat ohjeistus ja tietoisuus koskien LED-valaistusta ja sen suunnittelua, asennusta ja ylläpitoa. Tutkimuksessa vertaillaan LED-tekniikkaa ja muita valaistusratkaisuja. Myös LED-tekniikan tulevaisuudennäkymiä pohditaan. Tutkimuksen lopussa on kartoitettu LED-valaistukseen liittyviä uhkia ja mahdollisuuksia sekä vahvuuksia ja mahdollisuuksia.</p>	
Avainsanat	LED, LED-valaistus

Author Title	Joni Ropponen Lightning solutions – especially the LED-technology
Number of Pages Date	35 pages + 9 October 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Professional Major	Electrical Building Services
Instructors	Matti Sundgren, Senior Lecturer
<p>One of the greatest breakthroughs in the history of lightning has been the invention of the LED-technology. In 2014 even a Nobel prize was awarded to the researcher of the LED-technology. The LED-technology saw its daylight in the beginning of the 20th century. Since the technology has been used in the different types of electronics from on/off lights to the LED- and OLED-screens as well as to the lightning in the oil rigs. Nowadays LED-technology can be found in every single Finnish home which has electricity.</p> <p>Directives and acts have put spanner in the works for the thermal radiators. On the other hand, the legislation has brighten the way for the LED-technology. The growing environmental consciousness has in its own part also paved the way for LED-technology.</p> <p>In this piece of research the different types of lightning solutions are carefully examined. However, the concentration is especially on the LED-technology. As a result of this research paper there are given guidelines and knowledge concerning the LED-lightning and its planning, installation and sustenance. In this research the LED-technology is compared to the other lightning solutions. Also, the future of the LED-technology is discussed. In the end of this research there are assessed possible threats, opportunities, strenghts and weaknesses of the current LED-technology.</p>	
Keywords	LED, LED-lightning

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Sähkön laadun poikkeamat	3
2.1	<i>Keskeytykset</i>	3
2.2	<i>Taajuuspoikkeamat</i>	4
2.3	<i>Jännitteen muutokset</i>	4
2.4	<i>Transienttiylijännitteet</i>	5
2.5	<i>Harmoniset ja epäharmoniset yliaallot</i>	6
2.6	<i>Verkon signaalijännitteet</i>	6
2.7	<i>Supraharmoniset</i>	7
3	Valaistus	7
3.1	<i>Valovirta</i>	8
3.2	<i>Valovoima</i>	8
3.3	<i>Valaistusvoimakkuus</i>	9
3.4	<i>Väriämpötila</i>	9
3.5	<i>Värintoisto</i>	10
3.6	<i>Luminanssi</i>	11
3.7	<i>Häikäisy</i>	11
3.8	<i>Häiriövalo</i>	12
3.9	<i>Fotometrinen koodi</i>	12
4	Valoratkaisut	13
4.1	<i>Termiset säteilijät – hehkulamput ja halogeenilamput</i>	13
4.2	<i>Loistelamput</i>	14
4.3	<i>Purkauslamput</i>	15
4.4	<i>Induktiolamput</i>	16
5	LED-teknologia	16
5.1	<i>Erilaiset LED-lamput</i>	17
5.2	<i>LED-teknologian synty</i>	18
5.3	<i>Liitännäyksikkö</i>	19
5.3.1	<i>Kosketussuojaus</i>	20
5.3.2	<i>Kytkenäsvaihtoehdot</i>	20
5.3.3	<i>LEDien säätö</i>	21
5.4	<i>Vahvuudet ja haasteet</i>	21
5.4.1	<i>Värintoisto</i>	22
5.4.2	<i>Sisä- ja ulkokäyttö</i>	23
5.4.3	<i>Käyttöikä</i>	23
5.4.4	<i>Energiatehokkuus ja ympäristöystävällisyys</i>	24
5.4.5	<i>Kantama, valon suunta ja häiriövalo</i>	25
5.4.6	<i>Hyötysuhde</i>	25
5.4.7	<i>Verkon häiriöt ja paloriski</i>	26

5.4.8	Lämpeneminen	26
5.5	<i>LED-tekniologian tulevaisuuden näkymät</i>	26
6	Päätelmät	28
	Lähteet	31

Lyhenteet

CRI	Colour Rendering Index, CIE:n yleinen värintoistoindeksi RA.
DC	Tasajännite
EU	Euroopan unioni
Fy	Termi, joka kuvaa LED lamppujen elinikää
HUE	Philipsin LED-valaisinbrändi
Hz	Hertsi, Taajuuden yksikkö
cd	Kandela, Valovoiman yksikkö. Vastaa karkeasti arvioituna yhden kynttilän valovoimaa.
K	Kelvin, Valon väriämpötilan yksikkö
LED	Light-emitting diode. Valoa säteilevä puolijohdekomponentti
LOR	Light Output Ratio, valaisimen hyötysuhde.
lm	Lumen, Valovirran yksikkö
L	Luminanssi, Ilmaisee kohdekappaleen pinnan kirkkauden
lx	Luksi, Valaistusvoimakkuuden yksikkö
A	Ampeeri, Sähkövirran yksikkö
ms	Millisekunti
SWOT	Nelikenttäänalyysi: Strengths = vahvuudet; Weaknesses = heikkoudet; Opportunities = mahdollisuudet; Threats = uhat
UGR	Unified Glare Rating. Valaistuksen häikäisevyys
V	Voltti, Jännitteen yksikkö
W	Watti, Tehon yksikkö

1 Johdanto

Yksi maailmanhistorian mullistavimmista keksinnöistä on kiistämättä hehkulamppu. Vaikka hehkulampun keksimisen kunnia ei yksinoikeudella menekään Thomas Alva Edisonille, vaan hänen lukuisille alaisilleen, voidaan Edisonin pyrkimyksiä patentoida alan keksintöjä, pitää urauurtavana.

Sähkövalon voittokulku oli sen keksimisen jälkeen nopeaa. Tampereella ensimmäinen hehkulamppu otettiin käyttöön ensimmäisenä Pohjoismaissa. Sen valo syttyi Finlaysonin tehtaalla vuonna 1882. Tämän siivittämänä alkoi Suomessa sähkövalonajanjakso, jonka toinen iso virstanpylväs oli vuonna 2012, kun Euroopan Unioni (EU) vaati hehkulampuista luopumista – oli tullut aika siirtyä LED-tekniikan aikakauteen.

LED-tekniikkaa hyödynnettiin ensimmäisenä erilaisten elektronisten laitteiden numero-näyttöissä ja hallintavalaisissa. Kaksituhattaluku on kuitenkin ollut LED-tekniikan läpimurron aikaa. LED-valaistusta käytetään nykyään hyvinkin erilaisissa tarkoituksissa ja tiloissa: esimerkiksi ulkovalaistuksessa, exit-valaistuksessa, valaistusinstallaatioissa, kohdevalaistuksessa, kylteissä ja yleisvalaistuksessa. [1]

Tämä tutkimus on teoreettinen katsaus eri valaisinratkaisuihin. Tutkimuksen pääpaino on kuitenkin LED-tekniikalla. Aluksi kerrotaan yleisimmistä sähkön laatuun vaikuttavista tekijöistä mm. käyttökeskeytyksistä ja jännitetaso vaihteluista (luku 2). Tämän jälkeen tarkastellaan valaistukseen liittyviä perussuureita kuten valovirtaa ja valotehokkuutta (luku 3). Luvussa 4 tutkitaan eri valoratkaisujen verkkovaikutuksia. LED-tekniikkaan keskittyvässä osiossa (luku 5) tuodaan esille LED-tekniikan toimintamalleja, vahvuuksia ja kipupisteitä. Tarkastelussa ovat mm. värinostokyky, käyttötarkoitus, käyttöikä, energiatehokkuus, ympäristöystävällisyys, häiriövalo, hyötysuhde, verkon häiriöt sekä LED-tekniikan tulevaisuuden näkymät. Päätelmissä esitetään SWOT-analyysi LED-tekniikasta.

Lähdekirjallisuutena käytetään sähköalan tuoreimpia julkaisuja: suomalaisia ja kansainvälisiä verkkojulkaisuja, sähköalan opaskirjoja sekä verkkoraportteja. Lähdekirjallisuuden kielinä ovat suomi ja englanti.

Tutkimuksen tuloksina ovat ohjeistus ja tietoisuus koskien LED-valaistusta ja sen suunnittelua, asennusta ja ylläpitoa. Tutkimuksessa on myös kartoitettu LED-valaistukseen liittyviä uhkia ja mahdollisuuksia.

2 Sähkön laadun poikkeamat

Suomessa SFS-EN 50160 standardin mukainen nimellisjännite U_n on yleisessä pienjänniteverkossa 230 voltia (V). Vaihtojännitettä on pistorasiasta saatava jännite. Tasajännitettä saadaan esimerkiksi paristoista.

Sähkön laatu tarkoittaa häiriötöntä sähkön syöttöä. Jos sähkön syötössä tapahtuu poikkeamia sinimuotoisesta 50 Hz jännitteestä, nämä häiriöt voivat aiheuttaa häiriötä tai vahinkoa laitteille. [2] Nämä sähkön laadun poikkeamat johtuvat eri asioista. Osa poikkeamista on tuottajalähtöisiä, osa kuluttajaperäisiä. [3]

Häiriölajit voidaan jakaa kahteen pääryhmään, johtuvasti/galvaanisesti- ja sähkömagneettisesti ilmeneviin häiriöihin. Johtuvia eli galvaanisia häiriötyyppejä ovat jännitekatkot, jännitetaso vaihtelut, maadoitusviat, epäsymmetria, yliaallot sekä poikittaiset ja pitkittäiset transientit. Sähkömagneettisia häiriöitä ovat jännitteiden aiheuttamat sähkökentät, radiotaajuiset häiriöt sekä virtojen aiheuttamat magneettikentät. [3] Tässä luvussa tarkastellaan yleisimpiä sähkön laadun poikkeamia.

2.1 Keskeytykset

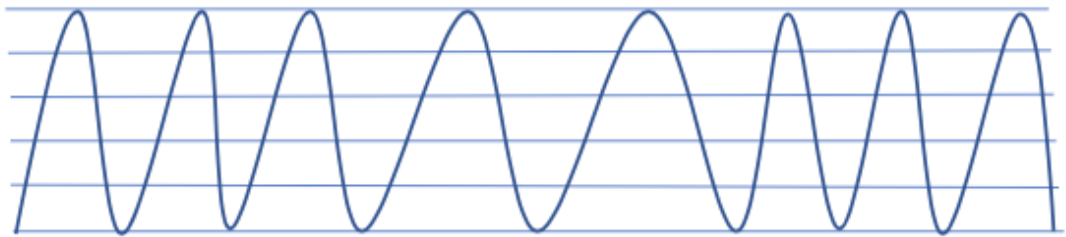
Sähköt katkokset ovat ikäviä mutta kaikille tuttuja sähkön laadun poikkeamia. Sähkön jakelun keskeytykset (*supply interruption*) voivat aiheutua avojohtolinjoilla esimerkiksi luonnonilmiön (esimerkiksi salama tai kaatunut puu) tai ihmisen toiminnan seurauksena. Yleensä vika on nopeasti ohimenevä ja poistuu joko pikajälleenkytkennällä (viive n. 0,7 sekuntia) tai aikajälleenkytkennällä (viive minuutti). [3; 4.] Kuvassa 1 on hahmoteltu sähkön keskeytys, jonka jälkeen jännite palaa normaaliksi.



Kuva 1. Keskeytykset. Aika-akseli horisontaalinen, jännite vertikaalinen.

2.2 Taajuuspoikkeamat

Annetun ohjeistuksen mukaan Suomessa verkkojännitteen taajuuden tulee olla aina 50Hz. [5] Tästä taajuudesta esiintyy kuitenkin poikkeamia (*frequency deviation*) vaikkakin ne ovat harvinaisia. Näitä poikkeamia voi esiintyä esimerkiksi pienillä jakelualueilla kuten saarissa tai varavoimakonekäytössä. [3] Kuvassa 2 on hahmoteltu taajuuden vaihtelua.

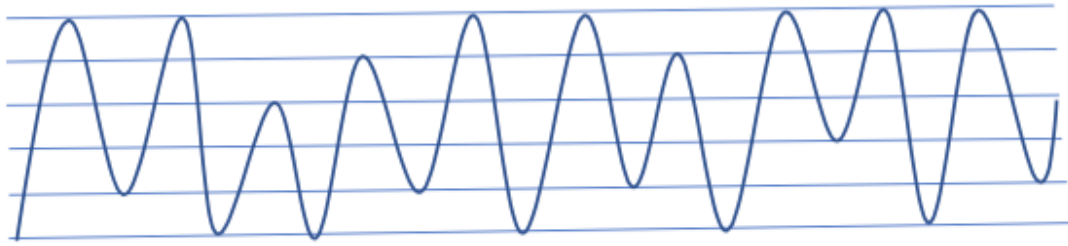


Kuva 2. Taajuuden poikkeamat. Aika-akseli horisontaalinen, jännite vertikaalinen.

2.3 Jännitteen muutokset

Jännitteen muutokset aiheuttavat esimerkiksi valojen välkyntää (*voltage flicker*) ja voivat olla haitallisia elektronisille laitteille. Normaaleissa käyttöolosuhteissa (pl. keskeytysjaksot ja syrjäseudut) jännitetaso ei saisi vaihdella yli $\pm 10\%$ nimellisjännitteen arvosta. [5] Kuvassa 3 hahmoteltu jännitemuutoksia verkossa.

Esimerkkejä nopeista jännitteen muutoksista ovat jännitekuopat (*supply voltage dip*), nopea jännitteen nousu (*rapid voltage change*) ja välkyntä. Nämä jännitteen muutokset johtuvat esimerkiksi salamaniskusta, nopeista jälleenkytkennöistä tai isojen kuormitusten päälle- ja poiskytkemisestä. Välkyntän syynä ovat usein valokaariuunit, pistehitsaus tai tasaisesti/satunnaisesti vaihtelevat isot kuormat. [3]

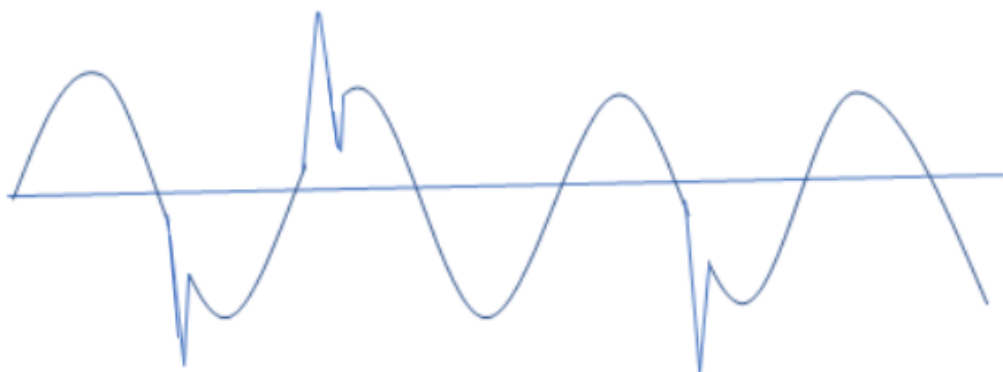


Kuva 3. Jännitetason vaihtelut. Aika-akseli horisontaalinen, jännite vertikaalinen.

2.4 Transienttilylijännitteet

Transienttilylijännitteet (*transient overvoltage*) voivat vahingoittaa tietokoneita ja muita elektronisia laitteita. Ne voivat olla seurausta salaman iskusta, joka saa aikaan jännitetason kasvun.

Transienttilylijännitteet jaotellaan ilmiön keston perusteella kolmeen eri luokkaan. Pitkistä transienteista (yli 100 ms) puhutaan silloin, kun ne syntyvät esimerkiksi sulakkeen palamisesta ja kompensointikondensaattorin kytkennästä. Keskipitkät (1...100 ms) transientit puolestaan syntyvät katkaisijan toiminnasta tai linjaan tai sen läheisyyteen iskeneestä salamasta. Lyhyet transientit (alle 1 ms) aiheuttaa taas paikallisten kuormien kytkentä. [3] Kuvassa 4 kuvattu transienttilylijännitteitä verkossa.



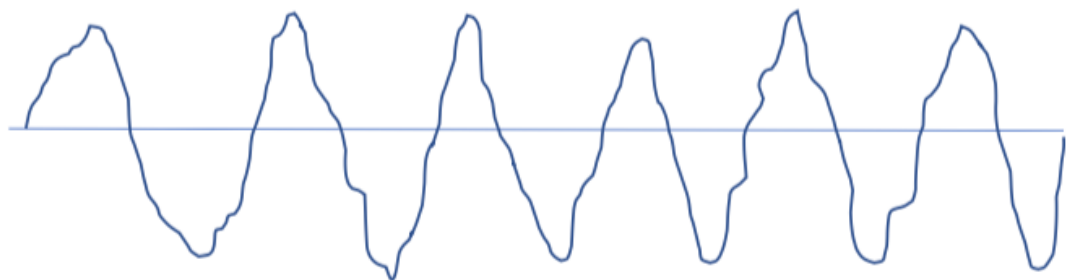
Kuva 4. Transienttilylijännite. Aika-akseli horisontaalinen, jännite vertikaalinen.

2.5 Harmoniset ja epäharmoniset yliaallot

Viime aikoina harmonisten yliaaltojännitteiden määrä on kasvanut. Tämä johtuu siitä, että säätölaitteiden kuten taajuusmuuttajien määrä on lisääntynyt. Harmonisten (*harmonic distortion*) tai epäharmonisten yliaaltojännitteiden (*non-harmonic distortion*) takana ovat usein esimerkiksi epäsymmetriset kuormitukset. [3] Kuvat 5 ja 6 hahmottelevat harmonisia ja epäharmonisia yliaaltoja.



Kuva 5. Harmoninen yliaalto. Aika-akseli horisontaalinen, jännite vertikaalinen.



Kuva 6. Epäharmoninen yliaalto. Aika-akseli horisontaalinen, jännite vertikaalinen.

2.6 Verkon signaalijännitteet

Sähköverkkoon kytkettyjä tiedonkäsittelylaitteita ja radiolähettämiä voivat häiritä myös erilaiset signaalijännitteet (*electric noise*). Nämä sähköverkon perustaajuuteen summautuvat signaalijännitteet (3–350 kHz) ovat peräisin esimerkiksi plasmaleikkureista, sähköpurkauksista, valokaari- ja purkauslamppuista. [3] Kuva 7 hahmottelee signaalijännitteitä verkossa.



Kuva 7. Signaalijännitteet. Aika-akseli horisontaalinen, jännite vertikaalinen.

2.7 Supraharmoniset

Taajuusaluetta 2–150 kHz nimitetään supraharmoniseksi alueeksi. Supraharmonisia syntyy erityisesti hakkuriteholähteitä (kts. luku 5) käyttävissä LED-lampuissa. Kuvassa 8 on kuvattu supraharmonisia häiriöitä. Nämä supraharmoniset häiriöt voivat aiheuttaa LED-lamppujen välkyntää sekä lamppujen ennenaikaista rikkoutumista. [6]



Kuva 8. Supraharmoniset. Aika-akseli horisontaalinen, jännite vertikaalinen.

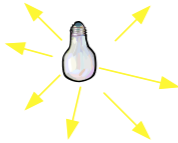
3 Valaistus

Valaistus on suuri energian kuluttaja. Suomessa käytetystä sähköstä noin kymmenen prosenttia kuluu valaistukseen. Huomionarvoista on, että monet asiat vaikuttavat

valaistuksen energiatehokkuuteen; erityisesti lamput ja valaisimet sekä tekoäly, joka mahdollistaa lamppujen tehokkaan käytön ohjaustekniikan avulla. Ympäristöystävällisyys ja energiatehokkuus ovat saaneet koko ajan isomman roolin valaistuksen valinnan perustana. Myös valaistusstandardit ja viranomaismääräykset asettavat valaistukselle vaatimuksia. [7]

3.1 Valovirta

Vielä hehkulamppujen aikaan lampun kykyä tuottaa valoa kuvattiin watteina (W), joka on tehon yksikkö. LED-valaisimia hankkiessaan moni on törmännyt pakkauksen kyljessä termiin lumen. Lumen (lm) on yksikkö, jolla kuvataan valovirtaa. Kuvassa 9 esittää valovirran tuottamaa valoa. Valovirtaa kuvataan myös tunnuksella Φ . Valovirta ilmaisee, kuinka paljon ihmissilmälle näkyvää valoa kyseinen valonlähde tuottaa. [8]



Kuva 9. Valovirta. [9]

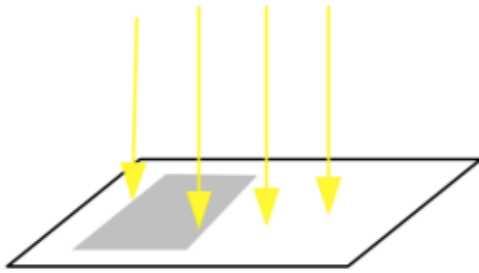
Jos haluaa muuttaa hehkulamppujen wattimäärän lumeneiksi, pitää kertoa wattimäärä luvulla 15. Esimerkiksi $50 \text{ W} * 15 = 750 \text{ lm}$. [10]

3.2 Valovoima

Valovoima (I) ilmaisee valolähteestä tiettyyn suuntaan säteilevän valon voimakkuuden. Yksi kandela (cd) vastaa karkeasti arvioituna yhden kynttilän valovoimaa. [10; 11]

3.3 Valaistusvoimakkuus

Valaistusvoimakkuudella tarkoitetaan tietylle pinnalle saapuvan valovirran määrä per pinta-alayksikkö. Tämä on esitetty kuvassa 10. Valaistusvoimakkuuden (E) yksikkö on luksi (lx). Normaalisti sisävalaistuksessa valaistusvoimakkuus on 100–1000 luksin välillä. [13] Vertailun vuoksi mainittakoon, että suoran auringonpaisteen valovoimakkuus on jopa noin tuhatkertainen eli arviolta 100 000 lx. [12]



Kuva 10. Valaistusvoimakkuus. [9]

3.4 Väriämpötila

Valon väriämpötilan yksikkö on kelvin (K), joka ilmaisee valon koetun sävyn. Väriämpötila vaihtelee lämpimän punaisen (n. 2000 K) ja kylmän sinisen välillä (12 000–18 000 K). Ihminen erottaa väriämpötiloja 2790–11000 K välillä. [13] Kuvassa 11 esitetään väriämpötilojen skaala.



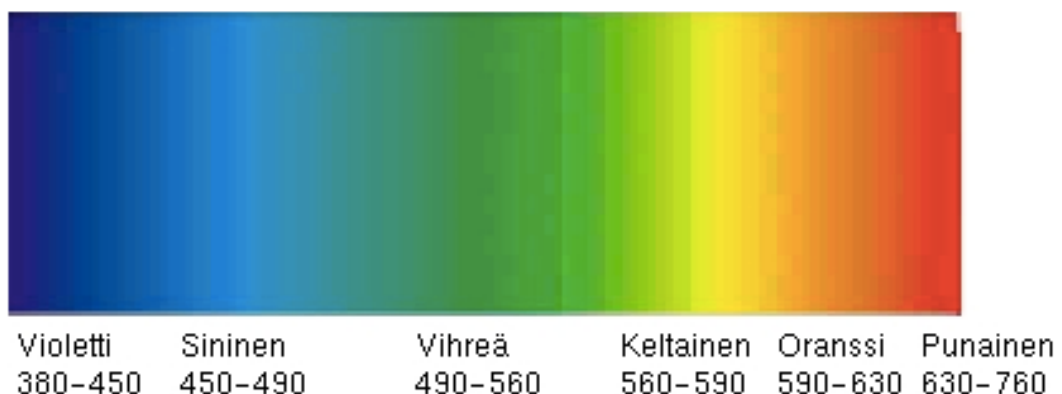
Kuva 11. Väriämpötila [14].

3.5 Värintoisto

Puhuttaessa värintoistosta törmätään väistämättä käsitteisiin Ra- ja CRI-indeksit. Värintoistoa kuvataan värintoistoindeksillä (CRI = Colour Rendering Index), joka saa arvoja välillä 1 – 100. Indeksillä 1 viitataan monokromaattiseen valoon, jolla on vain yksi aallonpituus eikä se toista värejä lainkaan. Indexi 100 viittaa luonnolliseen auringonvaloon. [15] Auringonvalon spektrijakauma on kuvattu kuvassa 13.

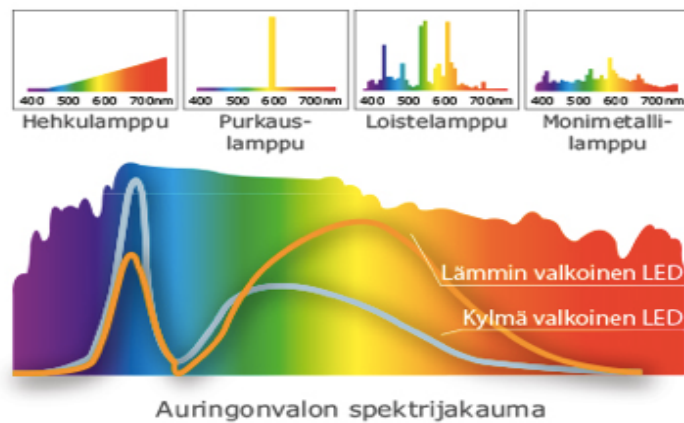
Varsin luonnollista valoa tuottavaksi koetaan lamput, joiden värintoistoindeksi on yli 85 CRI. Jos CRI jää alle 80:n, valo koetaan luonnottomaksi ja asiat voivat näyttää kyseisessä valossa omituisilta. [16] Kaupallisessa käytössä CRI-indeksiin viitataan usein Ra-arvona (R1–R15), joka mittaa värien toistumista kahdeksan eri vertailupisteen kautta. CRI taas ottaa huomioon laajemman skaalan aallonpituuksia. [15]

Spektri tarkoittaa sähkömagneettisen säteilyn jakautumista eri lajeihin. Näkyvän valon lyhytaaltainen pää on violetti ja pitkäaaltainen punainen, kuten kuvassa 12 näkyy. Toisaalta spektri on valon intensiteetti aallonpituuden funktiona $I(\lambda)$. [17]



Kuva 12. Värintoistoindeksi. [17]

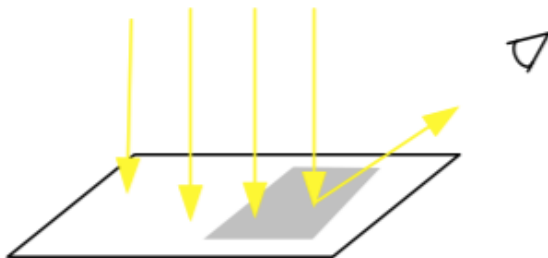
Valo on ihmisen silmälle näkyvää säteilyä. Pystymme näkemään valon, jonka aallonpituus on 380–780 nm. [18]



Kuva 13. Auringonvalon spektrijakauma. [18]

3.6 Luminanssi

Luminanssi (L) = 1 cd/m^2 ilmaisee kohdekappaleen pinnan valotiheyden eli pintakirkkauden. Se on ainoa nähtävissä oleva valon suure. Luminanssi (kuva 14) syntyy pinnan valaistusvoimakkuuden ja heijastumissuhteen yhteisvaikutuksena. [9]



Kuva 14. Luminanssi. [9]

3.7 Häikäisy

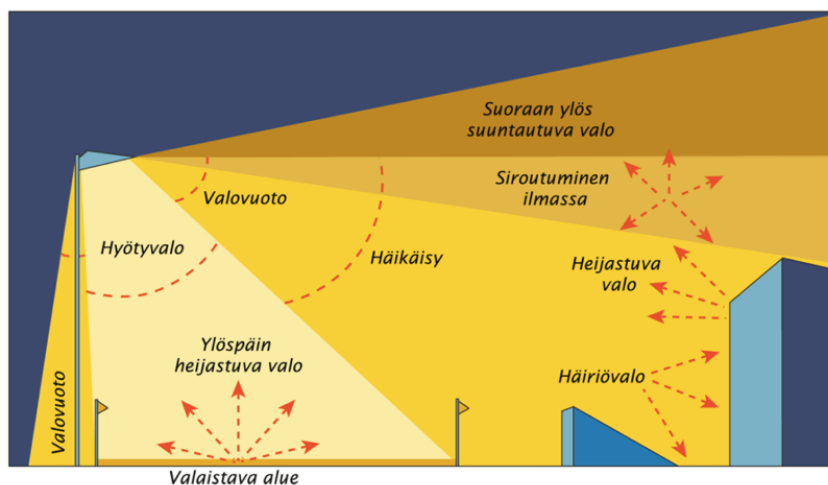
Häikäisyllä tarkoitetaan olosuhdetta, joka heikentää näkemistä. Tämä olosuhde voi johtua luminanssijakauman tai -tason sopimattomuudesta tai voimakkaista kontrasteista. [19]

UGR-arvo (Unified Glare Rating) kuvaa valaistuksen häikäisevyyttä. Arvo kertoo, kuinka paljon valaistus aiheuttaa kiusahäikäisyä. UGR-arvo voi vaihdella 10–28 välillä. Valonlähteen luminanssin kasvaessa kiusahäikäisy lisääntyy. [20]

3.8 Häiriövalo

Häiriövalo eli valosaaste tarkoittaa, että valaistuksella on myös negatiivisia vaikutuksia. Häiriövalon eri muodot on esitelty kuvassa 15. Valaistus, ollakseen häiriövalo, voi olla esimerkiksi liian voimakasta, sitä ohjataan väärin tai se on suunnattu väärin. Häiriövalo voidaan määritellä seuraavasti:

”Häiriövalo on siis valaistavan alueen ulkopuolelle menevää valoa, joka määränsä, suuntansa tai spektrijakaumansa takia kasvattaa epämiellyttävyyttä, epämukavuutta, hämmennystä tai rajoittaa oleellisen informaation näkymistä.” [21]



Kuva 15. Häiriövalon eri muodot. [21]

3.9 Fotometrinen koodi

Fotometrinen koodi (kuva 16) kertoo valaisimen tärkeimmät laatuparametrit. Tästä kuu-
sinumeroisesta koodista voidaan lukea värintoistoindeksi (R_a), ekvivalentti värilämpötila (CCT), värikoordinaatit/värierot sekä valovirran pysyvyys. [22]

Fotometrisen koodin 830/359 rakenne on selvitetty ohessa:

- Koodi 8 – värintoistoindeksi Ra alkuarvo esim. 84
- Koodi 30 – ekvivalentin väriämpötilan alkuarvo 3 000 K
- Koodi 3 – värikoordinaattien alkuhajonta 3-portaisessa MacAdamin ellipsisissä
- Koodi 5 – värikoordinaattien loppuhajonta 5-portaisessa MacAdamin ellipsisissä
- Koodi 9 – valovirran pysyvyys testiajan lopussa esim. 91 %

Ledimoduulin fotometrinen koodi on aina ilmoitettava tuotepakkauksessa ja tuote-esitteessä.

Kuva 16. Fotometrisen koodin rakenne. [22]

4 Valoratkaisut

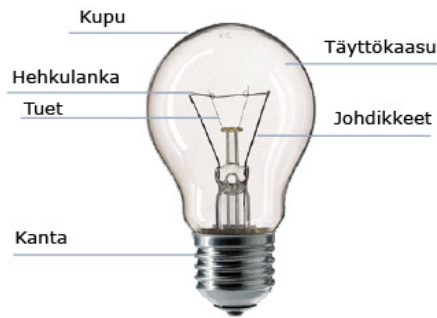
”Valaistuksen ensisijainen tehtävä on tuottaa riittävästi hyvälaatuista valoa erilaisten toimintojen suorittamiseen.” [22]

Lampputyypit voidaan jakaa kahteen eri tyyppiin perustuen lamppujen valon syntymekanismiin. Hehkulamput metallilanka kuumenee nimensä mukaisesti hehkuvaksi ja sivutuotteena syntyy lämpöä. Myös halogeenilamput toimivat tällä periaatteella, mutta niissä on sisällä halogeenikaasua. Näin niiden valotehokkuutta saadaan nostettua, koska kaasu mahdollistaa hehkulangan kuumentamisen vieläkin kuumemmaksi. [10]

Tässä luvussa tarkastellaan yleisimmin käytössä olevia valaisintyyppisiä. Luvussa 5 syvennytään LED-teknologiaan.

4.1 Termiset säteilijät – hehkulamput ja halogeenilamput

Kärpäsenkakkaiset hehkulamput ovat jäämässä Suomessa jo historiaan. Lämpöä säteileviä ja itikoita houkuttelevia hehkulamppuja on turha enää kaupasta etsiä. Energiatehokkuusajattelun vallatessa alaa sähköntuotannossa lyhytikäiset hehkulamput ovat poistuneet, lainsäädännön voimalla, loisteputkien ja LED-valaisimien tieltä. Hehkulamput ovat energiasyöppöjä ja niiden valontuotanto on, hukkalämmöstä johtuen, melko tehotonta. Arviolta vain 5–15 % niiden käyttämästä sähköstä muuttuu valoksi. [10]



Kuva 17. Hehkulamppu. [23]

Historiaan on jäämässä myös hehkulampun lähisukulainen halogeenilamppu, jonka myynti ja markkinointi lopetettiin EU-alueella vuonna 2016. Halogeenilamppu eroaa hehkulampusta sillä, että ensin mainitun suojakuvussa on halogeenikaasua. Tämä halogeenikaasu, joka on jodia ja bromia, luo edellytykset hehkulangan lämpötilan nousemiselle korkeammaksi kuin hehkulampulla. Halogeenilamppu onkin serkkuaan hehkulamppua pitkäikäisempi ja vähemmän energiaa kuluttava. [10]

4.2 Loistelamput

Perinteisesti julkisten tilojen kattoja ja kahdeksankymmenluvulla rakennettujen kotien keittiöitä koristavat loisteputket ovat yleisimmin käytössä olevia loistelamppuja (kuva 18). Kuvun loisteaineen avulla elohopeahöyryssä tapahtuva purkaus muutetaan näkyväksi. Valon koostumusta voidaan muuttaa valitsemalla halutunlaisia loisteaineyhdistelmiä. [10] Myös elohopealamput ovat nykyään kiellettyjä EU:n alueella hehkulamppujen tapaan.



T8/26 15W/830 G13 438MM BX

Kuva 18. Loistelamppu. [24]

Energiansäästölamppujen (kuva 19) toiminta perustuu loistelamppuun. Nimensä mukaisesti ne kuluttavat vähemmän energiaa kuin perinteiset termiset säteilijät. Energiansäästölamppun käyttöikä voi olla jopa 20 000 tuntia. Lampun valontuotto kuitenkin heikkenee käyttötuntien myötä. [25]



Philips Genie ESaver E27

Kuva 19. Energiansäästölamppu. [26]

4.3 Purkauslamput

Purkauslamppujen (HID = High Intensity Discharge) valo perustuu nimensä mukaisesti purkaukseen (luminenssi). Purkauslamppuja ovat elohopea- ja suurpainenatriumlamput sekä monimetallilamput eli metallihalogeenilamput (kuva 20). Elohopealampuissa elohopea höyrystyy korkeassa lämpötilassa ja paineessa – suurpainenatriumlampuissa puolestaan natrium. Monimetallilamput, joissa käytetään elohopeaa ja eri metalliyhdisteitä, on kehitetty elohopealamppujen pohjalta. [10] Elohopealamput poistuivat markkinoilta samaan aikaan hehkulamppujen kanssa.



Kuva 20. Suurpainenatriumlamppu (vas.) ja monimetallilamppu (oik.). [27]

4.4 Induktiolamput

Induktiolamput tuottavat valoa sähkömagneettisen induktion ja kaasupurkauksen avulla. Induktiolamput ei ole hehkulampun tai elektrodeja. Lamput on induktiokela, joka aiheuttaa suurtaajuisen energiavirran elohopeakaasuun. Tekniikka ei ole uusi, mutta ongelmana on ollut sen saaminen perinteisen hehkulampun kokoon. [28]

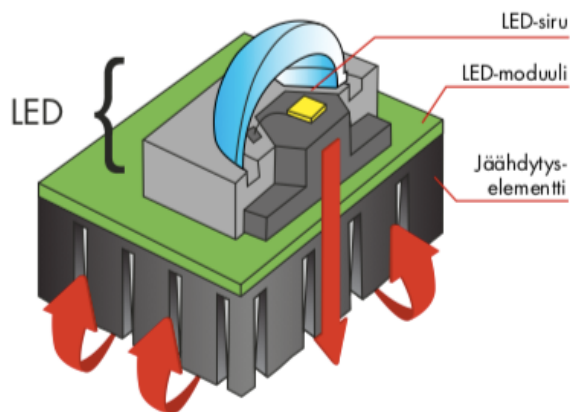
Induktiolamput sopivat hyvin ulkovalaistuksen ja korkeisiin tiloihin. Lamppujen valotehokkuus on hyvä (70 lm/W) ja käyttöikä pitkä (100 000 h). [29]

5 LED-teknologia

LED-valaistukseen siirtyminen on ollut parin viime vuosikymmenen suuri murros valaistusalalla, kun valkoiseen valoon pohjautuvien LED-valaisimien maailmanvalloitus on alkanut. LED-teknologia on kehittynyt erityisen nopeasti. LED-lamppujen suosiota selittävät monet asiat, mutta erityisesti se, että ne soveltuvat hyvin erilaisiin käyttötarkoituksiin. [30] LED-lamput ovat käyttöominaisuuksiltaan monipuolisia, niitä voi helposti himmentää ja niiden monipuoliset värit mahdollistavat valaistukseen uusia ulottuvuuksia olohuoneesta teollisuuskäyttöön. [22]

Energiatehokkaiden, kustannustehokkaiden ja ympäristöystävällisten LED-lamppujen läpimurtoon on kuitenkin tarvittu porkkanan lisäksi myös keppiä. EU-lainsäädännön ohjaamana hehkulamput siirryttiin 2010-luvun pienloiste- eli energiansäästölamppuihin ja lopulta kohti LED-valaistusta. [31]

Lyhenne LED tulee sanoista Light Emitting Diode. Kyseessä on valoa hohtava diodi (kuva 21) eli puolijohdekomponentti, joka lähettää valoa silloin, kun myötäsuntainen tasavirta kulkee sen läpi. LED-lampun toiminta perustuu elektroluminenssiin. [32]



Kuva 21. LED. [30]

5.1 Erilaiset LED-lamput

LED-lamput voivat olla erinäköisiä ja -kokoisia riippuen niiden käyttötarkoituksesta. LED-teknologian nopea kehittyminen onkin tuonut markkinoille useita erityyppisiä LED-lamppuja.

LED-filamenttilamput ovat nousseet suureen suosioon. Niiden design on klassista. Ne muistuttavat hehkulamppuja, kuten kuvan 22 yläriviltä voi huomata. [33]

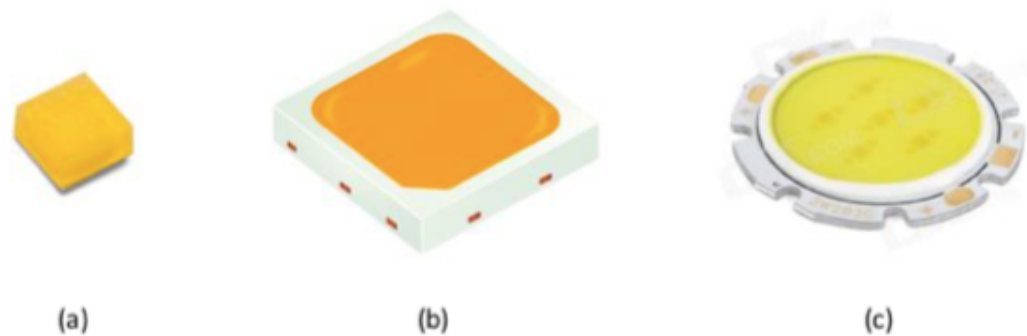


Kuva 22. Erilaisia LED-lamppuja. [34]

Tuoreimpiin innovaatioihin LED-teknologiassa kuuluvat Chip Scale Package (CSP) LEDit. Trendinä LED-teknologian kehityksessä ovat selvästi pienemmät, kevyemmät ja ohuemmat valaisimet. CSP LEDien valon kulma on laajempi ja design joustavampi. Kuitenkaan CSP LEDit eivät ole yhtä tehokkaita kuin high-power LEDit ja ovat vielä hinnoitankin niitä kalliimpia. [33]

COB-LEDeissä LED-siru liimataan suoraan alustaan ilman kotelointia. LED-siru voidaan tällöin päällystää esimerkiksi silikonilla. [33]

Paljon kiinnostusta herättävät nanowire LEDit patenttoitiin 2002. Ne ovat vielä kehityksenteella, vaikka patenttien määrä niiden eri sovelluksista on jo useita satoja. [33] Kuvassa 23 esillä erilaisia LED-komponentteja.



Kuva 23. (a) CSP LED (b) packaged LED ja (c) COB-LED. [33]

5.2 LED-teknologian synty

LED-teknologiaa on ollut jo pitkään lähes jokaisen kotona ja työpaikalla. Pienet punaiset ja vihreät merkkivalot elektronisissa laitteissa ovat jokaiselle tuttuja. Ne ovat niin sanottuja pieniteholedejä. [30]

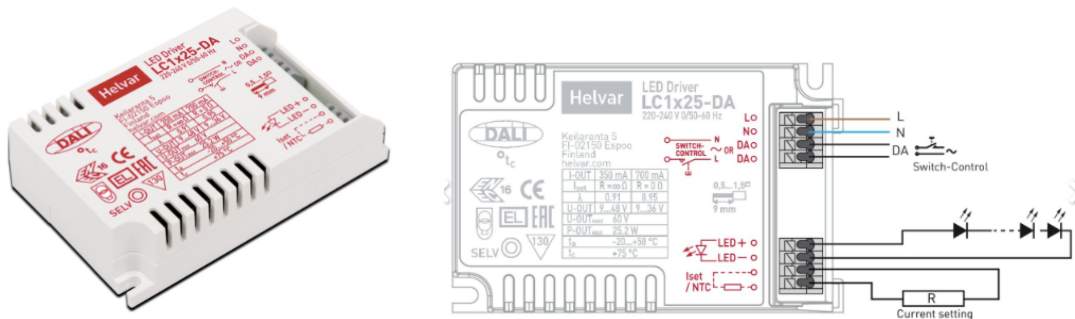
Vaikka LED-lamppujen, ns. teholedien, voittokulku alkoi vasta 2000-luvulla, LED-lamput on keksitty jo vuosikymmeniä sitten. LED-teknologia näki ensimmäistä kertaa päivänvalon 1960-luvulla General Electricin laboratoriossa USA:ssa. Kuitenkin jo 1900-luvun alussa, itseasiassa vuonna 1907, englantilainen Henry Joseph Round sai piikarbididiodin hohtamaan ensi kertaa vaimeaa valoa. Tämä löydös kuitenkin painui unholaan.

Roundin kanssa samoihin aikoihin venäläinen fyysikko Oleg Vladimirovich Losev huomasi myös tämän saman valoemissiota koskevan ilmiön ja lähti tutkimaan sitä tarkemmin. Kesti kuitenkin vuoteen 1962 ennen kuin Nick Holonyak Jr., General Electricin työntekijä, kehitti ensimmäisen infrapuna LED-lampun. [35]

LED-tekniikan tuomasta mullistuksesta kertoo paljon se, että japanilainen fyysikko Shuji Nakamura sai Nobel-palkinnon vuonna 2014 kehitettyään (vuonna 1993) tehokkaan kirkkaansinisen ledin sekä spektrin vihreällä alueella toimivan ledin. Hän kehitti lopulta myös valkoisen ledin, joka viimeisteli LED-tekniikan läpimurron valaistuksessa. [36]

5.3 Liitäntäyksikkö

LED toimii tasajännitteellä (DC). LED-lamppu tarvitsee toimiakseen virtalähteen (liitäntäyksikkö, kuva 24), joka muuttaa verkkojännitteisen vaihtovirran tasavirraksi. Tämä liitäntäyksikkö voi olla tasajännitemuuntaja, mutta hakkuriteholähde (kuva 25) on vielä energiatehokkaampi ratkaisu. [37]



Kuva 24. 25 W:n DALI-säädettävä LED-liitäntälaitte. [38]



Hakkuriteholähde - ELN-60-12V 5A 60W IP64

Kuva 25. Hakkuriteholähde. [39]

Liitântälaite on LED-moduulien ja loistedioidien käytössä välttämätön. Sen tarkoitus on muuttaa verkkojännite (230 V) sopivaksi komponenttien käyttöön. Huomioitava on, että kaikki liitântälaitteet eivät kuitenkaan sovi LEDeille. [40]

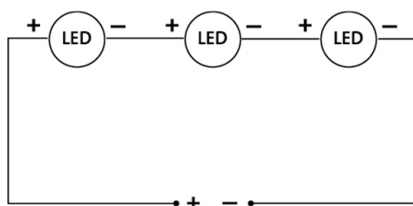
Tärkeää on, että liitântälaitteen valinta tehdään juurikin käytössä olevan LED-valaisimen tyyppin mukaan. On myös ensiarvoisen tärkeää huolehtia napaisuudesta, koska LEDit toimivat tasajännitteellä. Jos liitântälaite on väärä tai se on kytketty väärin, siihen kytketyt LED-valaisimet voivat vaurioitua tai jopa tuhoutua. [40]

5.3.1 Kosketussuojaus

Kosketussuojaus on useimmissa LEDeille sopivissa liitântälaitteissa. Kosketussuojausta kutsutaan SELV-suojajännitepiiriksi (*Safety Extra Low Voltage*). LED-moduulien kytkentä voidaan tehdä myös suoraan verkkojännitteeseen. Tämä tosin rajoittaa valaistuksen säätöä ja laskee valaistuksen tehoa. [40]

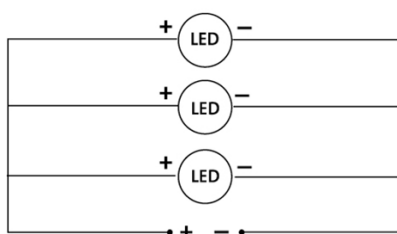
5.3.2 Kytkentävaihtoehdot

Vakiovirtakäytössä LEDit toimivat vakiovirralla, kuten kuvassa 26. Tämän vakiovirran suuruus vaihtelee välillä 350–1050 mA. Liitântälaitteeseen LEDit kytketään sarjana. Tästä sarjaan kytkettyjen LEDien määrästä riippuu piirin jännite. Jokaisessa LEDissä on oma kynnysjännitteensä. Koska kyseessä on sarjakytkentä, nämä sarjakytkennässä olevien LEDien kynnysjännitteet lasketaan yhteen. [40]



Kuva 26. Sarjakytkenällä virtalaitteeseen kytketyt, vakiovirtakäytössä olevat LEDit. [40]

On mahdollista kytkeä useita LED-tuotteita ns. rinnakkain samaan liitännälaitteeseen/vakiojännitteeseen. Kuvassa 27 esitetty rinnakkaiskytkennän periaate. Menetelmää käytetään paljon LEDejä sisältävissä tuotteissa, esimerkiksi LED-listoissa ja valoviivan tuottavissa LED-tuotteissa. [40]



Kuva 27. Vakiojännitekäytössä olevien LEDien rinnakkaiskytkentä. [40]

5.3.3 LEDien säätö

LEDien säätöön on olemassa kaksi eri tekniikkaa: amplitudimodulaatio (AM) ja pulssinleveysmodulaatio (PWM). Ensimmäinen tarkoittaa, että LEDien syöttövirtaa pienennetään. Jälkimmäinen puolestaan, että LEDien syöttövirran ollessa vakio, virtaa leikataan suurella taajuudella. Tämä saa aikaan vaikutelman, että valotaso laskee. [40]

5.4 Vahvuudet ja haasteet

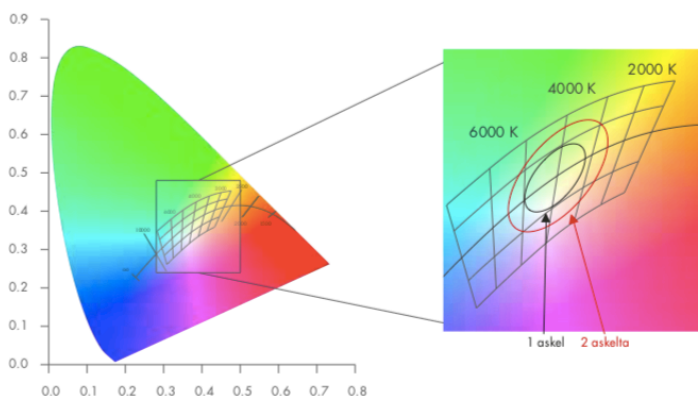
Tässä luvussa tarkastellaan LED-tekniikan vahvuuksia ja haasteita verrattuna muihin markkinoilla oleviin valonlähteisiin. Tarkastelussa ovat mm. värinvalokkyky, käyttötarkoitus, käyttöikä, energiatehokkuus, ympäristöystävällisyys, häiriövalo, hyötysuhde ja verkon häiriöt. Lopuksi pohditaan LED-tekniikan tulevaisuuden näkymiä.

5.4.1 Värintoisto

Yksi LED-lamppujen vahvuuksista on niiden mahdollistama valaistuksen värikirjo. Yleisimmät valon värit LED-valaistuksessa ovat 2700–3000 K (ns. lämmin valkoinen), 4000 K (neutraali valkoinen) ja 5000 K (ns. kylmä valkoinen). Kaikkien vaikein värisävy LEDeille on punainen ($R = 9$). [13]

Tekniikka kehittyi kuitenkin koko ajan ja nopeasti. Tätä kirjoittaessa, syyskuussa 2019, markkinoilla on jo jonkin aikaa ollut esimerkiksi Philips HUE-älyvalojärjestelmä, jonka LED-lamput mahdollistavat valaistukselle 16 miljoonaa eri värisävyä. Mukaan lukien laaja kirjo punaisen eri sävyjä. [41]

Huomionarvoista on kuitenkin se, että LED-lamppujen värintoistokyky on alhaisempi (R_a 70–80) kuin halogeenilampulla (R_a 100). [42] LED-lamppujen värintoisto on kuitenkin kehittynyt huomattavasti viime vuosien aikana saavuttaen joissain tapauksissa jopa R_a 90 [1]. Värintoistoluku tarkoittaa sitä, miten hyvin eri lamput näyttävät värit sellaisena kuin ne oikeasti ovat. LED-lamppujen heikkoa kykyä tuottaa valaistun kohteen värit onkin useaan otteeseen kritisoitu. LED-lamppujen valon on sanottu tekevän ihmisistä kalpeita ja luovan ns. sairaalatunnelmaa. [16] MacAdam'in ellipseillä kuvataan ihmissilmän väriherkkyyttä. Ne vastaavat kooltaan LEDin väritoleranssia ja on sijoitettu väridiagrammiin, kuten kuvassa 28 näkyy.



MacAdam'in ellipsien koot (portaiden määrä) vaihtelevat sen mukaan, kuinka paljon ledin värit vaihtelevat. Mitä suurempi ellipsi, sitä enemmän vaihtelua (vähemmän yhdenmukaisuutta).

Kuva 28. MacAdam'in ellipsi. [31]

5.4.2 Sisä- ja ulkokäyttö

LED-lamppuja on nykyään laajasti sekä ulko- että sisäkäytössä. LEDien on raportoitu toimivan $-40...+85^{\circ}\text{C}$:n lämpötiloissa kosteuden ollessa alle 65 %. [1] LED-lamput toimivat hyvin kylmässä, joten niitä on asennettu paljon tie- ja katuvalaistukseen, kylmiöihin sekä vaativiin olosuhteisiin, kuten porauslautoille. Koska LED-lamput ovat hyvinkin pitkäikäisiä, niitä asennetaan paljon vaikeapääsyisiin paikkoihin kuten korkeisiin paikkoihin. [30] Myös sisävalaistuksessa LED yleistyy koko ajan. LED-lamppujen lämmönkestävyys on kuitenkin huono, ja LED on valonlähteenä pistemäinen.

Nopeasti yleistyneet LED-lamput ovat saaneet osakseen myös kritiikkiä. Tutkimukset ovat osoittaneet, että LEDit houkuttelevat hyönteisiä. Pelätään, että tällä voi olla ekosysteemille pitkäaikaisia negatiivisia vaikutuksia, koska kaupunkien ulkovalot voivat houkutella hyönteisiä pois niiden luonnollisilta elinalueilta. [43]

Tutkijat ovat myös nostaneet esille, että varsinkin sinistä LED-valoa tulisi välttää ennen nukkumaanmenoa. Tämä ns. sininen valo voi haitata luonnollista unirytmää ja jopa vahingoittaa silmiä. [44] Markkinoilla onkin jo ns. iltasilmälaseja, joiden ainut tarkoitus on estää sininen valo nukkumaanmenoajan lähestyessä. [45]

5.4.3 Käyttöikä

Termi Fy kuvaa LED-lamppujen elinikää. Termissä yhdistyy vähittäinen ja äkillinen viikaantuminen. Esimerkiksi elinikä L70F10 kuvaa aikaa, jonka jälkeen kymmenen prosenttia LED-lampuista on rikkoutunut tuottaen vähemmän kuin 70 % alkuperäisestä valovirrastaan tai LEDit eivät enää ollenkaan tuota valoa. [23]

Puhuttaessa LED-lamppujen käyttöiästä puhutaan kymmenistä tuhansista tunneista, eli LEDit voivat teoriassa palaa jopa yli viisi vuotta yhtäjaksoisesti. Tästä syystä tarvittaisiin erittäin pitkä testausaika LED-lamppujen eliniän luotettavaan toteamiseen. Totuus on, että käytännössä LED-lamppuja testataan selvästi lyhyemmän aikaa kuin niiden oletettu maksimielinikä on. Syy tähän on selvä; pitkät testausajat ja nopea tuotekehitys eivät voi kulkea käsi kädessä. Pitkät elinikätestit johtaisivat siihen, että markkinoille tulisi jo valmiiksi vanhentunutta teknologiaa. [23]

Isona etuna LED-teknologiassa on se, että kun LED-lamppu syttyy, se antaa heti täyden valotehon. LED-lamppujen käyttöikä ei myöskään lyhene sytytyskertojen mukaan, vaan käyttöikä on jopa yli 50 000 tuntia. Huomionarvoista on kuitenkin se, että LED-komponenttien iso ongelma tällä hetkellä on suuret laadulliset erot eri valmistajien välillä. LEDien käyttöikä voikin vaihdella erittäin paljon valmistajasta riippuen. [10] Tämä on omiaan kasvattamaan epäluotettavuutta LED-teknologiaa kohtaan.

Mitkä tekijät sitten vaikuttavat LED-lamppujen elinikään? Elinikää rajoittavat materiaalien vanhenemisesta johtuva vähittäinen valovirran alenema (hyötyelinkä, $L_x B_y$) sekä elektronisten komponenttien vikaantumisen johtuva äkillinen rikkoutuminen ja siitä johtuva äkillinen valovirran alenema (C_y). [23]

5.4.4 Energiatehokkuus ja ympäristöystävällisyys

Energiatehokkuus, myös valaistuksessa, on saamassa koko ajan enemmän painoarvoa. Tohtori Eveliina Juntusen, väitöskirjatutkimus osoittaa, että sähkönkulutusta voidaan leikata hyvällä suunnittelulla, valaistuksen älykkäällä ohjauksella ja uusimmilla komponenteilla. [47]

Jopa Euroopan unionin tasolla on puututtu valaistuksen energiatehokkuuteen. Eco-Design- eli Ekosuunnitteludirektiivi on puitedirektiivi, jonka perusteella valaistukseen liittyville erituoteryhmille laaditaan tuoteryhmäkohtaiset asetukset, jotka tulevat voimaan luultavasti vuonna 2021. [48]

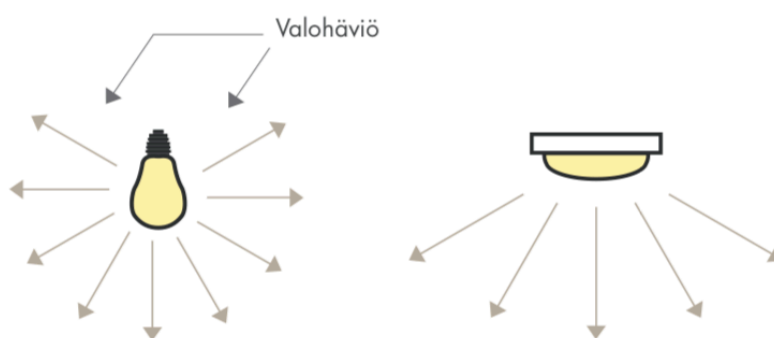
Vaikka LED-teknologia onkin saanut paljon kunniaa energiatehokkuudestaan, on huomionarvoista, että LEDien energiankulutuksesta vain noin 30 prosenttia päätyy valoksi ja jopa 70 prosenttia lämmöksi. Erona perinteisiin valonlähteisiin, joista lämpö poistui pääasiassa ympäriinsä säteilemällä, LED-sirusta lämpö pitää johtaa erikseen pois. [47]

LEDit on suunniteltu toimimaan vain 12~24 V:n jännitteellä. Kuitenkin LEDit tuottavat enemmän valoa per watti kuin hehkulamput. LEDit kuluttavat myös 80 % vähemmän sähköä kuin hehkulamput. LEDit ovatkin todella tehokkaita verrattuna ns. vanhempaan lampputeknologiaan. [1]

5.4.5 Kantama, valon suunta ja häiriövalo

LEDien isoja haasteita on ollut se, että valaistuksen kantama on lyhyt (vain 10 metriä). [1] Jos tarvitaan valonlähde, josta säteilee valoa sekä ylös- että alaspäin, LED soveltuu tarkoitukseen huonommin kuin esimerkiksi T5-loistelamppu. [30] Jatkuvan kehitystyön myötä on kuitenkin odotettavissa, että LEDien kantama tulee asteittain kasvamaan lähitulevaisuudessa. [1]

LEDeissä kaikki valo emittoituu yhteen suuntaan. Tämä voidaan nähdä LEDien isona etuna. [30] Kuvassa 29 on havainnoitu hehkulampun ja LEDin ero.



Kuva 29. Perinteiset valonlähteet säteilevät suuren osan valosta eri suuntiin. [30]

Monesti juuri LED-lamput nähdään häiriövaloa tuottavina. Itseasiassa häiriövalon määrän voidaan, juuri päinvastoin edellä mainittua olettaen, odottaa vähenevän LED-valaistuksen määrän lisääntyessä ulkovalaistusverkossa. Suomessa vanhaan teknologiaan perustuvien ulkovalaistuksen uusiminen on ollut viime vuosina nopeaa Euroopan komission direktiivin ja asetusten myötä. [21]

5.4.6 Hyötysuhde

Lamppujen hyötysuhde on kehittynyt viimeisen sadan neljäkymmenen vuoden aikana vauhdilla. Vuonna 1879 keksityn hehkulampun hyötysuhde 1,5 lumenia on noussut 16 lumeniin. Vuonna 1938 päivänvalon nähneen loisteputken hyötysuhde on taas parantunut 70 vuoden aikana 50 lumenista 100 lumeniin. [47]

Näiden em. lamppujen kehitysvauhti ei kuitenkaan ole ollut mitään verrattuna LED-lamppuihin. Valkoisten LEDien hyötysuhde oli vuonna 1996 luokkaa 5 lumenia. Kolmekymmentä vuotta myöhemmin LED-lamput voivat yltää jopa 150 lumeniin. Tulevaisuus näyttää vieläkin kirkkaamalta LED-lamppujen osalta, sillä on arvioitu, että valkoisten LEDien hyötysuhteen maksimi on jopa 300 lumenia. [47]

Eri LED-tuotteiden välillä voi olla merkittäviä eroja suorituskykyarvoissa. Myös eri valmistajien antamat tiedot eivät ole aina keskenään vertailukelpoisia. Esimerkiksi LED-valaisimien valotehokkuuden, ottotehon ja eliniän esittäminen vaihtelee riippuen tuotteesta ja valmistajasta. [22]

Johtuen vähäisestä yksittäisestä tehosta, yhden LEDin valoteho on ainakin vielä melko heikko. Tarvitaan useita yhteen kytkettyjä LEDejä, jotta luminanssi saadaan kasvamaan. Esimerkkinä tästä ovat autojen LED-perävalot. Vaikka yksittäinen LED-lamppu olisikin edullinen, monen LED-lampun tarvitseminen halutun valotehon tuottamiseen tulee kalliiksi. [1]

5.4.7 Verkon häiriöt ja paloriski

LED-valaistus on tutkitusti perinteisiä valaistusratkaisuja turvallisempi. LEDien suurimmaksi ongelmaksi nähdään niiden aiheuttamat verkon häiriöt. LED-valot aiheuttavat suuren sytytysvirtapiikin. Tämä virtapiikki lyhentää muiden verkkoon kytkettyjen laitteiden elinikää. Tämä taas puolestaan kasvattaa paloriskiä. [48]

5.4.8 Lämpeneminen

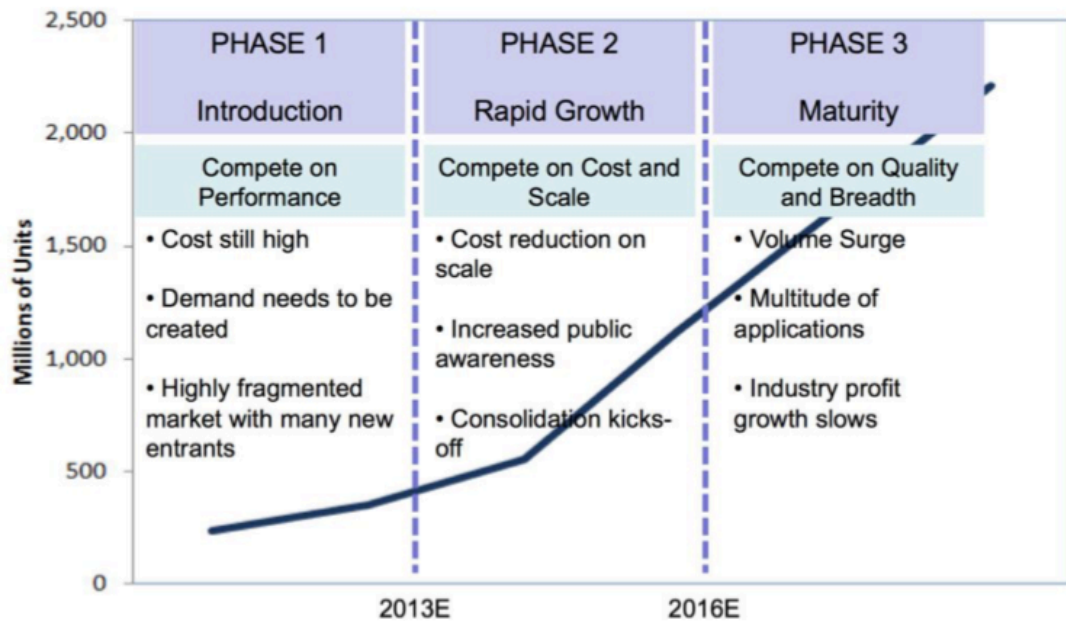
Koska LEDeillä ei ole infrapunaominaisuutta, ne tuottavat lämpöä – päin vastoin kuin usein luullaan. Tämä lämpö pitää johtaa johonkin, jotta LED säilyttää normaalin toimintalämpötilansa ja ylikuumeneminen tai sirun vaurioituminen estyy. Kehitystyö alan yrityksissä jatkuukin kiivaana, lämpöä kuluttavien materiaalien kehityksen suhteen. [1]

5.5 LED-tekniikan tulevaisuuden näkymät

Ilmaston lämpenemisen tiedostaminen on luonut paineita säästää energiaa myös valaistuksessa. Valaistus kuluttaa maailmanlaajuisesti noin 19 % tuotetusta sähköstä. [33]

LED-tekniikan käyttöönotolla pystytään kuitenkin vähentämään huomattavasti valaistukseen käytettävän sähkön määrää globaalisti.

Arvioidaan, että vuosittain maailmassa myydään noin 44 miljardia lamppua. Vuonna 2015 vain 5 % myydyistä lamputista oli LEDejä. [33] Kuva 30 kertoo, että tätä kirjoittaessa, syksyllä 2019, LED-markkinat ovat ns. kypsyneet ja kysyntäkäyrä on hyvin jyrkässä kasvussa.



Kuva 30. LED-valaistuksen myyntiluvut. [33]

Vaikka LED-tekniikka ei missään nimessä ole vielä täydellistä, LED-tekniikassa on hyvin paljon etuja verrattuna esimerkiksi hehkulamppuihin: pieni koko, pitkä elinikä, energiatehokkuus ja kestävyys. [1] Myös uudet LED-tekniikan innovaatiot, kuten nanowire LEDit, lisäävät tekniikan sovellusmahdollisuuksia koko ajan.

6 Päätelmät

LEDien käyttöikä on erittäin pitkä verrattuna muihin markkinoilla oleviin valonlähteisiin. Jos olisi sytytetty syntymäni kunniaksi nykyhetkellä myynnissä olevan LED-lamppu ja se olisi saanut palaa joka päivä 4 tuntia (oletuksena kestoikä 50 000 h), se palaisi vieläkin (laskennallinen käyttöikä em. käytöllä n. 37 vuotta).

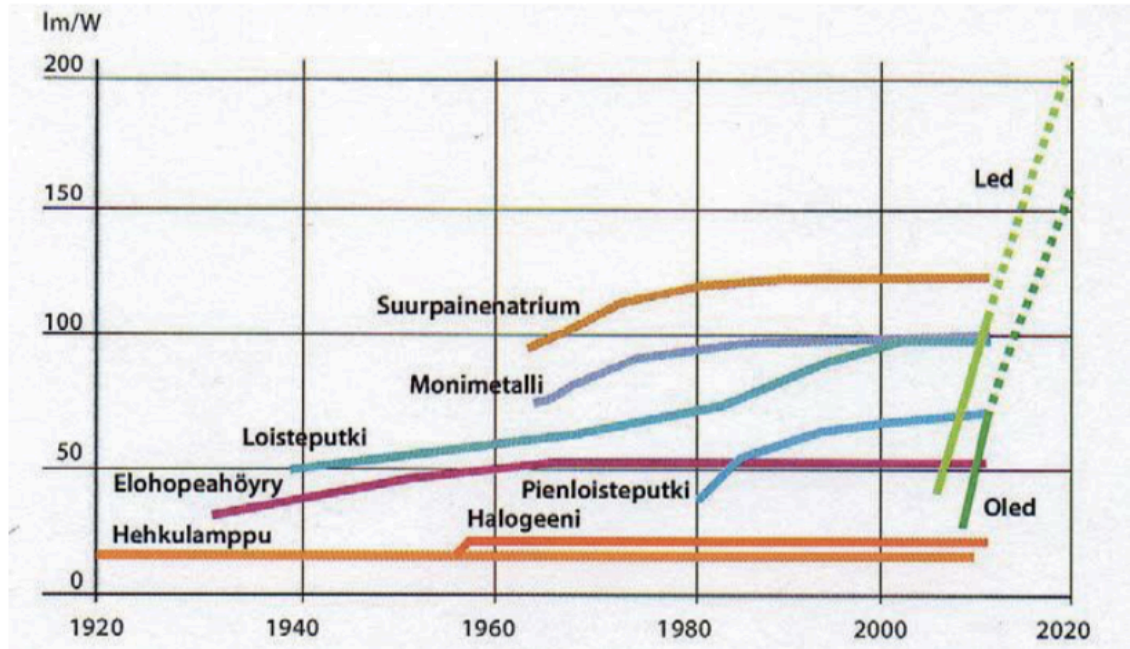
LED-tekniikan maailmanvalloitus on ollut nopeaa. LED-tekniikan voittokulku alkoi 2000-luvulla. Tällä hetkellä Euroopassa LEDin saavuttama jalansija on erittäin vahva. Huoli ympäristöstä, erityisesti energiatehokkuuden painottaminen, on ollut LED-tekniikan vahvin katalysaattori.

Kuten oheisesta kuvasta 31 voi päätellä, LED-tekniikka on monella osa-alueella tehokkaampaa tai ainakin yhtä tehokasta kuin ns. vanha valaisintekniikka. LED-valaisimien valotehokkuus on selkeästi parempi kuin loistelamppujen ja monimetallilamppujen sekä purkaussäteilijöiden. LEDien polttoikä on selkeästi muita valonlähteitä pidempi, jopa moninkertainen. Värintoistoindeksi ja ekvivalentin väriämpötilan osalta LED ylittää myös kirkkikolmikkoon. Ei siis ihme, että LED-tekniikka on yleistynyt huimaa vauhtia viime vuosien aikana.

Valonlähde:	Valotehokkuus (lm/W)	Ekvivalentti väriämpötila (K)	Värintoistoindeksi R _a	Hyöty polttoikä(h)	Säädettävyyden
Loistelamppu	70 - 100	2 700 - 13 000	70 - 90	n. 15 000	Kyllä
Pienloistelamppu	50 - 80	2 700 - 6 000	85	n. 10 000	Kyllä
Elohopealamppu	40 - 60	3 000 - 4 500	40 - 70	n. 24 000	Kyllä
Pienpainenaatriumlamppu	jopa 200	2 700 - 3 500	0	n. 18 000	Ei
Suurpainenaatriumlamppu	60 - 150	2 000 - 2 600	20 - 85	n. 20 000	Kyllä
Monimetallilamppu	75 - 120	3 000 - 6 500	60 - 95	n. 10 000	Kyllä
Halogeenilamppu	n. 20	2 700 - 5 000	100	n. 2 000	Kyllä
LED-valaisin	75	3 000 - 6 500	>90	jopa 50 000	Kyllä

Kuva 31. Valonlähteiden vertailua. [29]

Jos kiinnitetään huomio tarkemmin pelkkään valotehokkuuteen, kuva 32 kertoo, kuinka nopeasti LEDien valotehokkuus on kehittynyt muutaman vuoden aikana verrattuna muihin valonlähteisiin. Kuvasta näkee myös, millaiset tulevaisuuden näkymät LEDien kehitykselle on ennustettu.



Kuva 32. Eri valonlähteiden valotehokkuuden kehittyminen. [49]

Nelikenttä-analyysi (SWOT, kuva 33) esittää pähkinänkuoressa tämänhetkisen LED-tekniikan vahvuudet, heikkoudet, mahdollisuudet ja uhat. Analyysistä voi huomata, että LED-tekniikalla on vain muutamia uhkia, mutta tekniikassa on kuitenkin selkeitä heikkouksia. Vahvuuksia LED-tekniikalla on monia, samoin myös paljon mahdollisuuksia.

<p>VAHVUUDET</p> <ul style="list-style-type: none"> • hyvä valotehokkuus (lm/W) • pitkä käyttöikä, jopa 50 000 h • pieni energiankulutus • hyvä mekaaninen kestävyys • ei säteile lämpöä • helppo suunnattavuus ilman lisätarvikkeita • edullisin ja tehokkain ratkaisu tuottaa värillistä valoa • syttyy heti • sytytyskertojen määrä ei vaikuta elinikään • vähentää valaistuksen hiilidioksidipäästöjä • ohjaus ja säätö helppoa • sopivuus ulkovalaistukseen • sopivuus ns. hankalien paikkojen valaistukseen • valo emittoituu yhteen suuntaan 	<p>HEIKKOUEDET</p> <ul style="list-style-type: none"> • vaatii aina liitäntälaitteen • huono lämmönkestävyys • pistemäinen valonlähde (häikäisy) • heikohko värintoisto • laatupoikkeamat valmistajien kesken • punaisen valon aallonpituus • värintoistoindeksi • sinisävyinen 'sairaalavalistus' • yksittäisen LEDin heikko teho • lämmöntuotto • sytytysvirtapiikki • paloriski
<p>MAHDOLLISUUDET</p> <ul style="list-style-type: none"> • ympäristöystävällinen • pienikokoinen • kirkkaudensäätö • laaja värispektri • nopea tekninen kehitys • hyvät valotehokkuusarvot 75–113 lm/W (kehittyy koko ajan) • Nanowire LEDit • Li-fi tiedonsiirto • kuluttajien tietoisuus teknologiasta 	<p>UHAT</p> <ul style="list-style-type: none"> • valaistuksen kokonaiskustannukset kohtuullisen suuret • hinta

Kuva 33. SWOT-analyysi LED-teknologiasta. [29; 37]

On selvää, että LED-teknologia on tullut jäädäkseen. LED-teknologiaa on jo nyt paljon ympärillämme ja hyvin luultavasti sen määrä lisääntyy runsaasti lähivuosina. LED-teknologia myös kehittyy kovaa vauhtia koko ajan – kehityksen aallonharjaa ei ole missään nimessä vielä saavutettu. Uudet sovellukset luovat uusia mahdollisuuksia hyödyntää LED-teknologiaa. Aika näyttää, millaista tulevaisuuden LED-teknologia on ja saako se millaisia uusia haastajia sekä miten se pärjää näille haastajille. LEDien tulevaisuus näyttää tällä hetkellä kuitenkin hyvin kirkkaalta.

Lähteet

- 1 Ko, Kerry (20.12.2007). Advantages and Weaknesses of LED Application. 2007. Verkkoaineisto. Ledinside.com <https://www.ledinside.com/knowledge/2007/12/Advantages_and_weaknesses_of_LED_Application_200712> Luettu 15.9.2019
- 2 Mitä tarkoitetaan sähkön laadulla? Verkkoaineisto. Multirel.fi <<https://multirel.fi/sahkonlaatu-ja-mittalaitteet/sahkonlaatumittarit/sahkonlaatu/>> Luettu 15.9.2019
- 3 ABB TTT-käsikirja 2000-7.
- 4 Brink, Päivi (23.11.2016) Kantaverkko kestää useimmat sääilmiöt. Fingrid-lehti, Fingrid Oyj, 2016. <<https://www.fingridlehti.fi/kantaverkko-kesta-aa-useimmat-saailmiot/?highlight=keskeytys>> Luettu 16.9.2019
- 5 Yleisestä jakeluverkosta syötetyn sähkön jänniteominaisuudet. Standardi. SFS EN-50160.
- 6 Ruuth, Kalle (2018). LED-valaistuksen paloturvallisuus sekä eri valaisinratkaisuiden verkkovaikutukset. Diplomityö. Tampereen Teknillinen Yliopisto. Trepo-tietokanta. <https://www.palosuojelurahasto.fi/loppuraportit2018/2018_25_SMDno-2014-3038.pdf> Luettu 29.9.2019
- 7 Valaistus. Verkkoaineisto. Motiva.fi <https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_energian kaytto/valaistus> Luettu 17.9.2019
- 8 Yleisiin valaistustarkoituksiin käytettävät ledituotteet. Termit ja määritelmät. Standardi. SFS-EN 62504. Luettu 16.9.2019
- 9 Suureet ja kaavat. Verkkoaineisto. <http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/material/attachments/vanhaamk/etuotanto/0705016/5hZOS6mDZ/Suureet_kaavat.pdf> Luettu 16.9.2019
- 10 Ahokas, Jukka; Rajaniemi, Mari; Turunen, Mika. Maatalousrakennusten valaistus. Verkkoaineisto. Energia-akatemia.fi <http://www.energia-akatemia.fi/attachments/article/74/Maatalousrakennusten_valaistus_netti.pdf> Luettu 21.9.2019
- 11 Kandela-valovoima. Verkkoaineisto. Lampputieto.fi <<https://lampputieto.fi/lampun-valinta/lamppujen-ominaisuuksia/kandela-valovoima/>> Luettu 17.9.2019
- 12 Valaistussuunnittelijan käsikirja. Fagerhult. <<https://docplayer.fi/3704275-Valaistussuunnittelijan-kasikirja.html>> Luettu 29.9.2019

- 13 Valaistusvoimakkuus - luksi. Verkkodokumentti. Motiva. <<https://www.lamppu-tieto.fi/lampun-valinta/lamppujen-ominaisuuksia/luksi-valaistusvoimakkuus/>> Luettu 6.10.2019
- 14 Valon värilämpötila ja sen valinta LED-valaistuksessa. Verkkoaineisto. Ledstore.fi <<https://ledstore.fi/blog/2016/10/21/valon-varilampotila-ja-sen-valinta-led-valaistuksessa/>> Luettu 20.9.2019
- 15 LED-tietoa – Miksi valita LED-valot? Verkkoaineisto. Kotiled.com <<https://www.kotiled.com/led-tietoa-tietopaketti-led-lampuista/>> Luettu 29.9.2019
- 16 The colour rendering index. Verkkoaineisto. Lamps-on-line.com <<https://www.lamps-on-line.com/colour-rendering-index>> Luettu 20.9.2019
- 17 Värintoistoindeksi. Verkkoaineisto. Ledstore.fi <<https://ledstore.fi/korkea-varintoisto-cri-yli-90-led-lamput>> Luettu 20.9.2019
- 18 Valo ja spektri. Verkkoaineisto. <<https://space.fmi.fi/oppimateriaali/envisat/valonsade/spektri.html>>. Luettu 17.9.2019
- 19 Spektri. Verkkoaineisto. Glamox.com <<https://glamox.com/fi/spektri>> Luettu 17.9.2019
- 20 Suureita ja yksiköitä. Verkkoaineisto. Ensto.com <<https://www.ensto.com/fi/tuki/suunnittelutyokalut/valaistusopas/suureita-ja-yksikoita/>> Luettu 20.9.2019
- 21 Sisävalaistusstandardi. Verkkoaineisto. Ensto.com <<https://www.ensto.com/fi/tuki/suunnittelutyokalut/valaistusopas/sisavalistusstandardi-sfs-en-12464-1-2011/>> Luettu 24.9.2019
- 22 Häiriövalo. Verkkoaineisto. Pimeataivas.fi <<https://www.pimeataivas.fi/hukka-valo/hairiovalo/>>. Luettu 16.9.2019
- 23 Näin vertailen LED-valaisimia 2.0. Verkkoaineisto. Teknologiateollisuus.fi <https://teknologiateollisuus.fi/sites/default/files/file_attachments/nain_vertail_ledivalaisimia_2.0_2016_final.pdf> Luettu 24.9.2019
- 24 Hehkulamput. Verkkoaineisto. <<http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojak-sot/0705016/1228387313247/1228387387439/1228387417481/1228396558504.html>> Luettu 15.9.2019
- 25 Loistelamput. Verkkoaineisto. Airam.fi <<https://www.airam.fi/fi/tuotteet/103/loistelamput>> Luettu 15.9.2019

- 26 Energiansäästölamput. Verkkoaineisto. Lamputieto.fi <<https://lamputieto.fi/lampun-valinta/alasivu/energiansaastolamppu/>> Luettu 15.9.2019
- 27 Energiansäästölamput E27. Verkkoaineisto. <<https://www.lamp-puexpress.com/philips/pistokantaloistelamput/energiansaastolamput-e27/>>. Luettu 15.9.2019
- 28 Purkauslamput. Verkkoaineisto. <<https://verkkokauppa.slo.fi/fi/tuoteluettelo/valaistus/purkauslamput?p=1>> Luettu 15.9.2019
- 29 Induktiolamppu. Verkkoaineisto. <<http://etn.fi/index.php/about/13-news/1329-uusi-induktiolamppu-haastaa-ledilamput>> Luettu 15.9.2019
- 30 Valonlähteet. Verkkoaineisto. <<https://www.ensto.com/fi/tuki/suunnittelutyokalut/valaistusopas/valonlahteet/>> Luettu 17.9.2019
- 31 LED-tulevaisuuden valonlähde. Verkkoaineisto. Glamo.com. <https://glamox.com/upload/2013/09/26/fi_singlepages-2.pdf> Luettu 24.9.2019
- 32 Lex-EU. Verkkoaineisto. <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1419849329462&uri=CELEX%3A32009R0244>> Luettu 3.10.2019
- 33 LED-perustiedot. Verkkoaineisto. <<https://www.ledvance.fi/tuotteet/tuotetiedot/led-perustiedot/index.jsp>> Luettu 30.9.2019
- 34 BERTOLDI, Paolo & ZISSIS, Georges (2017). Status of LED-Lighting world market in 2017. European Commission Reports. Verkkoaineisto. <https://e3p.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/documents/publications/jrc113302_status_of_led_lighting_world_market_in_2017_bertoldi_v3_no_identifiers-1.pdf> Luettu 2.10.2019
- 35 Copper news. Do you already have LED lighting inside the house? 8.2.2016. Verkkoaineisto. <<https://come-home-to-copper.co.uk/do-you-already-have-led-lighting-inside-house-part-1>> Luettu 30.9.2019
- 36 History of LEDs - Light Emitting Diodes. Verkkoaineisto. <<http://www.historyoflighting.net/light-bulb-history/history-of-led/>> Luettu 2.10.2019
- 37 The Nobel Prize. Shuji Nakamura. Verkkoaineisto. <<https://www.nobel-prize.org/prizes/physics/2014/nakamura/facts/>> Luettu 2.10.2019
- 38 Ensto. LED. Verkkoaineisto. <<http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojak-sot/0705016/1228387313247/1228387387439/1233229692599/1233229715150.html>> Luettu 19.9.2019

- 39 Helvar. LED-liitäntälaitteet. Verkkoaineisto. <<https://www.helvar.com/fi/tuotteet/c-1/?control=DALI>> Luettu 19.9.2019
- 40 SLO. Verkkoaineisto. <<https://verkkokauppa.slo.fi/fi/hakkuriteholahde-elN-60-12v-5a-60w-ip64-3528320>> Luettu 19.9.2019
- 41 Fagerhult. Liitäntälaitteet. Verkkoaineisto. <<https://www.fagerhult.com/fi/osaa-miskeskus/LED/Liitantalaitteet/>> Luettu 19.9.2019
- 42 Philips. Hue. Verkkoaineisto. <<https://www2.meethue.com/fi-fi/p/hue-white-and-color-ambiance-1-kpl-n-pakkaus-gu10/8718699628659>> Luettu 5.10.2019
- 43 Lampputieto. Värintoistokyky. Verkkoaineisto. <<https://lampputieto.fi/lampun-valinta/lamppujen-ominaisuuksia/varintoistokyky/>> Luettu 19.9.2019
- 44 Puolakka, Marjukka (21.10.2014). Hyönteiset hullaantuvat led-valoihin. Tämä voi olla uhka luonnolle. Tekniikka ja talous. Verkkoaineisto. <<https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/hyonteiset-hullaantuvat-led-valoihin-tama-voi-olla-uhka-luonnolle/dac88568-a9a7-33a7-8516-ef9bd0a9e07a>> Luettu 1.10.2019
- 45 Jaatinen, Outi (18.05.2019). Led-valot voivat vahingoittaa näköä – tekee hallaa myös unirytmille. MTV-utiset. Verkkoaineisto. <<https://www.mtvuutiset.fi/artikkeli/tutkimus-led-valot-voivat-vahingoittaa-nakoa-tekee-hallaa-myos-unirytmille/7410214#gs.5mm31w>> Luettu 1.10.2019
- 46 Biohakkerin verkkokauppa. Biohakkerin iltaslasit. Verkkoaineisto. <https://biohakkerikauppa.com/collections/biohakkerin-laitteet/products/biohakkerin-iltaslasit?campaignid=1896103846&adgroupid=69393117079&adid=348111321359&gclid=Cj0KCQjw5rbsBRCFA-RlsAGEYRwepekN_1_zAf8_gQzVteGF3N4v9hKIPXExug6eLwbOMapgeOMUNYaAmV1EALw_wcB> Luettu 1.10.2019
- 47 Partanen, Petja (7.4.2015). LED-tutkijan loistava tulevaisuus. TEK-verkkolehti. Verkkoaineisto. <<https://lehti.tek.fi/tekniikka/led-tutkijan-loistava-tulevaisuus>> Luettu 5.10.2019
- 48 COMMISSION REGULATION (EU) .../... laying down ecodesign requirements for light sources and separate control gears pursuant to Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council and repealing Commission Regulations (EC) No 244/2009, (EC) No 245/2009 and (EU) No 1194/2012. Date: 17 Dec 2018. Committee: Committee on Ecodesign and Energy Labelling of Energy-related Products. D059564/02. Verkkoaineisto. <https://ec.europa.eu/transparency/regcomitology/index.cfm?do=search.documentdetail&Dos_ID=16954&ds_id=59564&version=2&page=1&AttLang=fi> Luettu 5.10.2019
- 49 Malin, Risto (28.11.2018). LED-valoja on aikalailla kaikkialla – nyt tutkijat havaitsivat niissä vaarallisen ominaisuuden. Kauppalehti. Verkkoaineisto.

<<https://www.kauppalehti.fi/uutiset/led-valoja-on-aika-lailla-kaikki-nyt-tutkijat-havaitsivat-niissa-vaarallisen-ominaisuuden/5fe40e60-53d0-4f9c-807b-0055c21088e3>> Luettu 1.10.2019

- 50 Sähkötieto Ry. Valonlähteet. (15.11.2009) Verkkoaineisto.
<<https://peda.net/jao-ammattillinen/pilotoinnit/sjap/smjt1a/sjap/sahkoasennukset-1/sahkoasennukset2/valaistuskytkennot/valonlahteet:file/download/eb0c984aa8208da06fea9e4eb28c78b961dc21be/ST%2058.08%20Valonlahteet.pdf>> Luettu 16.9.2019

