

# Valon ja muun optisen säteilyn hyödyntäminen talotekniikassa ja hyvinvointiteknologiassa

Antti Sironen

OPINNÄYTETYÖ  
Joulukuu 2020

Talotekniikan koulutus  
Sähköinen talotekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Talotekniikan koulutus  
Sähköinen talotekniikka

SIRONEN, ANTTI

Valon ja optisen säteilyn hyödyntäminen talotekniikassa ja hyvinvointiteknologiassa

Opinnäytetyö 82 sivua, joista liitteitä 12 sivua  
Joulukuu 2020

---

Tässä opinnäytetyössä selvitettiin valon ja muun optisen säteilyn hyödyntämistä talotekniikassa sekä hyvinvointiteknologiassa. Työssä selvitettiin, mistä aallonpituuksista optinen säteily koostuu ja mitä ulkoisia terveysvaikutuksia sillä on ihmiseen sekä millä valonlähteillä optista säteilyä voidaan tuottaa. Optinen säteily koostuu kolmesta eri pääaallonpituudesta, joita ovat ultraviolettisäteily (UV), näkyvä valo ja infrapunasäteily (IR).

Tutkimusmenetelmänä käytettiin kirjallisia ja sähköisiä tiedon lähteitä, joiden perusteella opinnäytetyö kirjoitettiin. Keskeisinä tuloksina saatiin koottua lista optisen säteilyn valonlähteistä, josta nähdään, mitä aallonpituuksia ne pystyvät tuottamaan. Sen lisäksi koottiin taulukot eri käyttömahdollisuuskohteista talotekniikan ja terveydenhuollon sovelluksista, joista nähtiin käyttökohde ja käytetty valonlähde sekä valonlähteen tuottamat aallonpituudet.

Työn lopputuloksena saatiin kerättyä kooste optisen säteilyn käyttömahdollisuuksista, jonka käyttö talotekniikassa sijoittui lämpökuvaukseen, veden ja ilman puhdistukseen sekä infrapunalämmitykseen. Lämpökuvaamisessa käytettiin kaukoinfrapunaa (IR-C) ja infrapunalämmityksessä käytettiin kaikkia infrapunaa aallonpituuksia käyttötarkoituksen mukaan (IR-A, IR-B ja IR-C). Veden puhdistuksessa käytettiin ensisijaisesti lyhytaaltoista UV-C-ultraviolettisäteilyä, jonka aallonpituudet ovat tehokkaita mikrobeja vastaan. Terveystieteiden tutkimuksissa optisen säteilyn käyttö sijoittui eri valohoitoihin, joilla voidaan hoitaa erilaisia ihotauteja, lihassärkyjä, parantaa ja nopeuttaa vaurioiden paranemista ihossa. Ihotauteiden hoitamiseen käytettiin ultraviolettisäteilyn aallonpituuksia (UV) ja lihassärkyihin ja haavojen hoitoon käytettiin näkyvän valon punaista aallonpituutta sekä infrapunasäteilyä.

Asiasanat: optinen säteily, näkyvä valo, ultraviolettisäteily, infrapunasäteily, käyttösovellukset

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme Building Services Engineering  
Electrical Building Services

SIRONEN, ANTTI

Utilization of light and optical radiation in building services and wellness technology

Bachelor's thesis 82 pages, appendices 12 pages  
December 2020

---

In this thesis, the utilization of light and optical radiation in building technology and well-being technology was investigated. In this study, the wavelengths of optical radiation and the superficial health effects on humans were investigated, as well as the light sources in which optical radiation can be produced. Optical radiation consists of three different main wavelengths, ultraviolet (UV) radiation, visible light and infrared radiation (IR).

This research was carried out by studying written and electronic sources of information. The main result is a compiled list of light sources of optical radiation and the wavelengths each one of them can produce. In addition, tables of different uses for building technology and healthcare applications were compiled, showing the uses and the light sources, as well as the wavelengths produced.

As the result of the work, a compilation of the possibilities to use optical radiation was produced. In building technology, optical radiation is used for thermal imaging, water and air purification and infrared heating. Far-infrared (IR-C) is used for thermal imaging and all infrared wavelengths for infrared heating depending on the application (IR-A, IR-B and IR-C). Short-wavelength UV-C ultraviolet radiation with wavelengths effective against microbes is primarily used for water purification. In health care, optical radiation is used to treat various skin diseases, muscle aches, and to heal and to accelerate healing skin damages. Ultraviolet wavelengths (UV) are used to treat skin diseases, and red wavelengths of visible light, as well as infrared radiation, to treat muscle aches and wounds.

---

Key words: optical radiation, visible light, ultraviolet radiation, infrared radiation, applications

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	OPTINEN SÄTEILY JA VAIKUTUKSET IHMISEEN .....	7
2.1	Silmän rakenne .....	8
2.2	Ihon rakenne .....	12
2.3	Ultravioletisäteily .....	14
2.4	Näkyvä valo .....	20
2.5	Infrapunasäteily.....	23
3	Valonlähteet.....	27
3.1.1	Aurinko .....	30
3.1.2	Erikoislamput.....	32
3.1.3	LED .....	34
3.1.4	Loistelamput .....	36
3.1.5	Natriumlamput .....	38
4	OPTISEN SÄTEILYN KÄYTTÖSOVELLUKSIA .....	40
4.1	Käyttö talotekniikassa .....	40
4.1.1	Kuntotarkastukset lämpökameralla.....	40
4.1.2	Veden desinfiointi UV-valaisimilla.....	44
4.1.3	Ilman ja pintojen puhdistus fotonivalaisimilla .....	46
4.1.4	Infrapunalämmitys .....	48
4.1.5	Yhteenveto .....	52
4.2	Käyttö terveydenhuollossa .....	55
4.2.1	Ultravioletivalohoidot .....	55
4.2.2	Näkyvän valon hoidot .....	58
4.2.3	Infrapunasaunat.....	59
4.2.4	Yhteenveto .....	61
5	POHDINTA .....	63
	LÄHTEET.....	66
	LIITTEET .....	71
	Liite 1. Ultravioletisäteilyn aallonpituudet .....	71
	Liite 2. Näkyvän valon aallonpituudet.....	72
	Liite 3. Infrapunasäteilyn aallonpituudet.....	73
	Liite 4. Optisen säteilyn valonlähteitä .....	74
	Liite 5. Värilämpöasteikko mukaillen .....	75
	Liite 6. Ultravioletisäteilyn aallonpituudet .....	76
	Liite 7. Ledin rakenne.....	77
	Liite 8. Materiaalien emissioikertoimia .....	78

Liite 9. Optisen säteilyn käyttökohteita talotekniikassa .....	79
Liite 10. Optisen säteilyn käyttökohteita terveydenhuollossa .....	80
Liite 11. Optisen säteilyn terveysvaikutuksia.....	81
Liite 12. Optisen säteilyn aallonpituudet.....	82

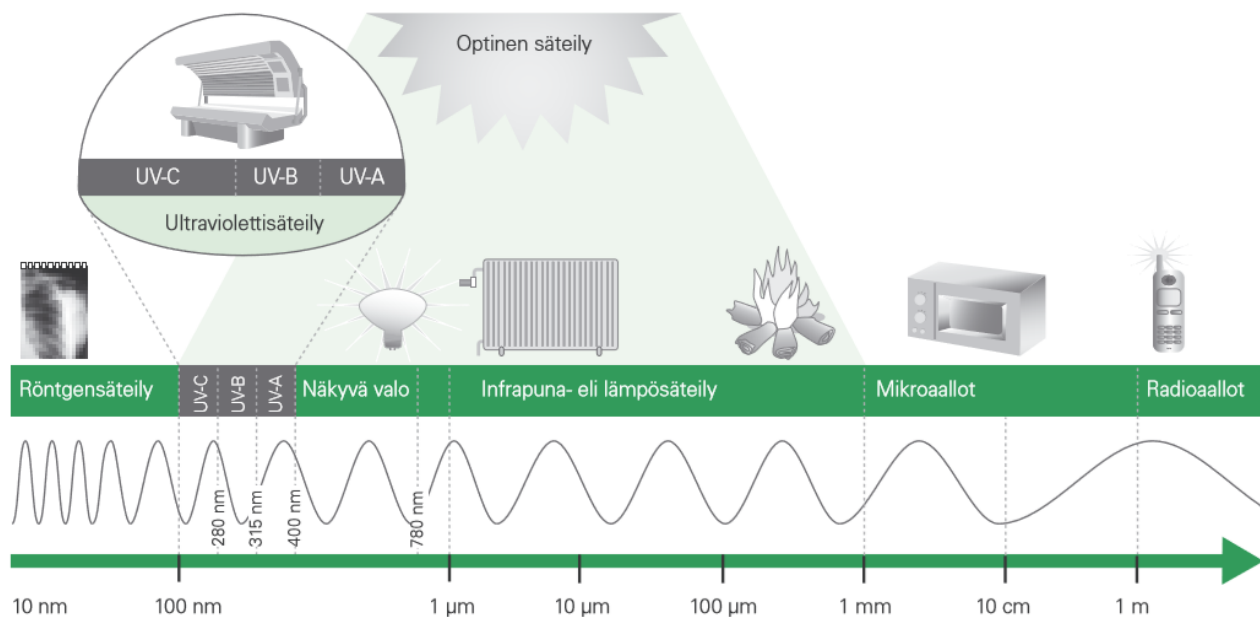
## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää, mistä optinen säteily koostuu ja mitä hyviä- ja huonoja terveysvaikutuksia sen eri aallonpituuksilla on ihmiseen. Työssä keskityttiin tutkimaan optisen säteilyn ulkoisia vaikutuksia ihmisessä, jotka vaikuttavat ihoon ja silmiin. Optinen säteily koostuu ultraviolettisäteilystä (UV), näkyvästä valosta ja infrapunasäteilystä (IR). Ultravioletti jakautuu kolmeen aallonpituusalueeseen, joita ovat lyhytaaltainen UV-C-säteily, keskipitkä UV-B-säteily ja pitkäaaltainen UV-A-säteily. Näkyvä valo jakautuu kuuteen eri aallonpituusalueisiin, jotka ihminen aistii violettina, sinisenä, vihreänä, keltaisena, oranssina ja punaisena. Infrapuna jakautuu myös kolmeen eri aallonpituusalueeseen, joita ovat lähi-IR-A-, keski-IR-B- ja kauko-IR-C-säteily.

Työssä käydään lävitse, millä eri valonlähteillä optista säteilyä voidaan tuottaa ja mitä aallonpituuksia ne pystyvät lähettämään. Työn tärkeimpänä tavoitteena on selvittää, mihin sovelluksiin näitä aallonpituuksia käytetään talotekniikassa ja terveydenhuollossa. Opinnäytetyö tehtiin Tampereen ammattikorkeakoululle, jonka toimeksiantajana toimi kehittämispäällikkö Markku Oikarainen.

## 2 OPTINEN SÄTEILY JA VAIKUTUKSET IHMISEEN

Saamme joka päivä optista säteilyä meille monista tutuista asioista, kuten esimerkiksi auringosta, valaisimista ja lämmittimistä. Optinen säteily on siis sähkömagneettista aaltoliikettä sekä hiukkasvirtaa, joka koostuu valokvanteista eli fotoneista. Lyhyellä aallonpituudella on suurempi energia, kuin pidemmän aallon pituudella. Optisen säteilyn aallonpituudet pystyvät heijastumaan sekä taittumaan pinnoista ja linsseistä. Optisen säteilyn aallonpituudet kykenevät absorboitumaan kemiakaaleihin sekä eläviin kudoksiin, absorboitumisella tarkoitetaan imeytymistä. Optinen säteily koostuu kuvion 1 mukaisesta sähkömagneettisesta spektrin alueesta. Optisen säteily koostuu ultraviolettisäteilystä (UV-säteily), näkyvästä valosta ja infrapunasäteilyn alueesta (IR-säteily). Aallonpituuden lyhenteenä käytetään  $\lambda$  ja sen yksikkönä käytetään nanometrejä (nm) tai mikrometrejä ( $\mu\text{m}$ ). (Halonen & Lehtovaara 1992, s. 282; Pastila, Nyberg, Jokela 2009, s. 12)



KUVIO 1. Optisen säteilyn aallonpituudet (Pastila ym. 2009, s. 14)

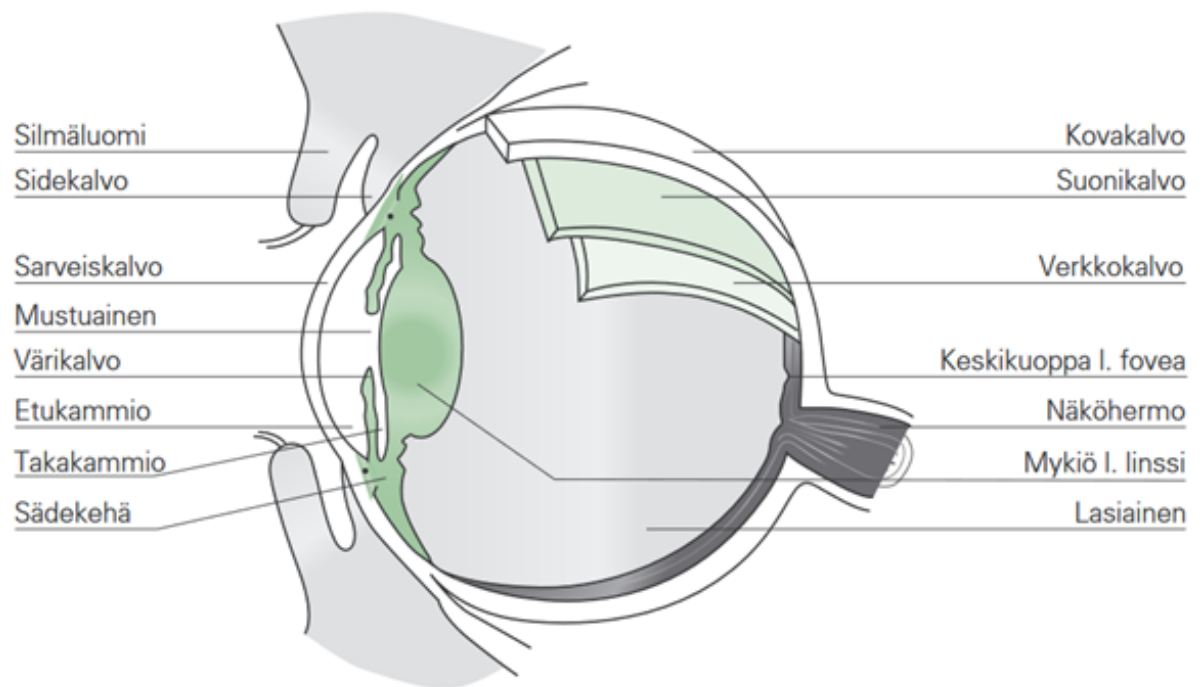
Ultravioletti on lyhytaaltoista sähkömagneettista säteilyä. Ultraviolettisäteilyn aallonpituudet alkavat 100 nanometristä (nm) ja päättyvät 400 nm. Ultravioletin jälkeen tulevat näkyvän valon aallonpituudet, jotka alkavat 400 nanometristä ja päättyvät 780 nm. Ihminen kykenee näkemään optisesta säteilystä vain näkyvän valon aallonpituudet. Näkyvän valon aallonpituusalueet aistitaan omina väreinään. Viimeisenä optisen säteilyn alueella tulee infrapunasäteily, jota kutsutaan

myös lämpösäteilyksi. Lämpösäteilyn voi tuntea lämpönä iholla. Infrapunasäteily alkaa 780 nanometristä ja päättyy yhteen millimetriin. (Hietanen, Visuri & Nyberg 2009, s. 264).

## 2.1 Silmän rakenne

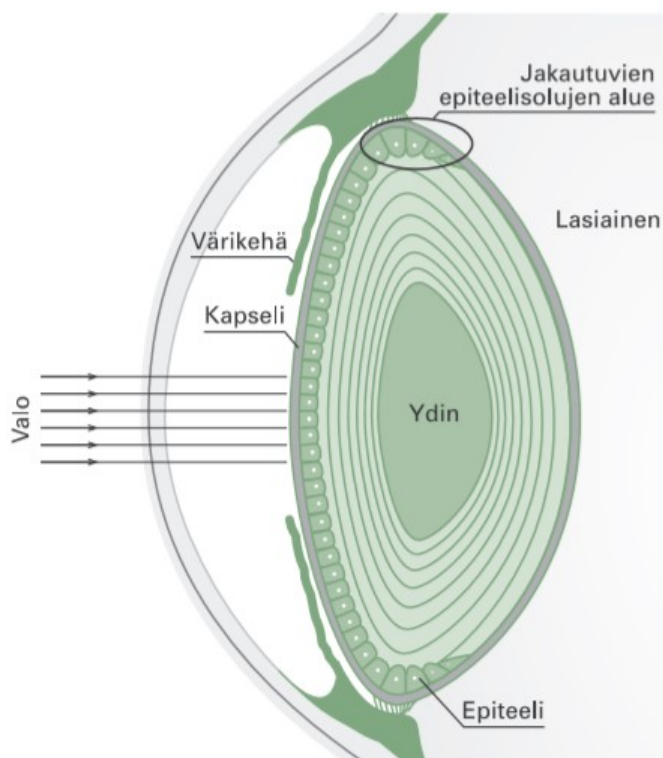
Ihmisen silmät ovat herkkiä optisille aallonpituuksille ja seuravaksi käydään lävitse silmän rakennetta, joka auttaa selventämään mihin optinen säteily pääsee kulkeutumaan silmissä ja vaikuttamaan. Ihmisen silmä on muodoltaan pallomainen ja silmän takana sekä sivuilla päällimmäisenä kerroksena on kovakalvo (kuvio 2). Silmämunan edessä kovakalvo muuttuu ohueksi sarveiskalvoksi. Seuravaksi tulee etukammio, joka on kammionesteen täyttämä. Tämän jälkeen tulee värikalvo, joka säätelee silmään tulevaa valon määrää suuremmalla ja pienentymällä. Takakammio sijaitsee värikalvon takana. Kammioneste liittyy sädekehän poimuista takakammioon ja pitää paineensa avulla silmän pyöreän muotoisena. Takakammion jälkeen nähdään mustuainen, jota kutsutaan myös pupilliksi. Värikalvon takana sijaitsee mykiö eli linssi ja tämä kiinnittyy kannatinsäikeiden avulla sädelihakseen eli sädekehään. Mykiön takana sijaitsee hyytelömäinen lasiainen, joka täyttää mykiön ja verkkovälisen alueen. Verkkokalvo sijaitsee suoni- ja kovakalvon sisäpuolella silmämunan takaosassa. Näkyvän valon osuessa silmään, muodostuu verkkokalvolle kuva heijastuvasta kohteesta. Näkyvä valo taittuu ensin sarveiskalvossa ja suurin taittuminen tapahtuu etukammion kanssa. Mykiön kaarevuutta muuttaa sädelihas, joka muuttaa myös valon taittovoimaa, jolloin voimme nähdä lähelle ja kauas. (Ylianttila & Jokela 2009, s. 50-51)





KUVIO 2. Silmän rakenne (Ylianttila ym. 2009, s. 51)

Mykiön tarkempi rakenne nähdään alhaalla olevasta kuviosta 3. Mykiön ympärillä sijaitsee tyvikalvon muodostama kapseli ja sen alapuolella sijaitsee solumainen epiteeli. Epiteelisolut tuottavat jatkuvasti mykiösäikeitä. Mykiö pysyy rakenteellisesti koossa juuri mykiösäikeiden pysyessä säännöllisinä, tämän muuttuessa ultravioletisäteilyn vaimeneminen sekä sironna kasvavat. Ultravioletisäteilyltä mykiötä ja epiteeliä suojaa silmän värikehä. Silmän mykiöön kuitenkin pääsee kulkeutumaan UV-säteilyä jyrkemästä kulmasta, joka saattaa vaurioittaa epiteelisoluja. Jyrkästä kulmasta tulevien UV-säteilyn osuus voi olla koko säteilystä 10-25 %, joten vinoittaiselta säteilyltä suojaavia aurinkolaseja tulisi käyttää. Aurinkolaseja valittaessa on kuitenkin hyvä muistaa, ettei edestäpäin suojaavat eivät välttämättä riitä suojaamaan silmiä riittävästi. Syynä tähän on aurinkolasien käyttö laajentaa mustuaista ja lisää mykiön altistumista vinoittaiselle säteilylle. (Laihia ym. 2009, s. 191-192)

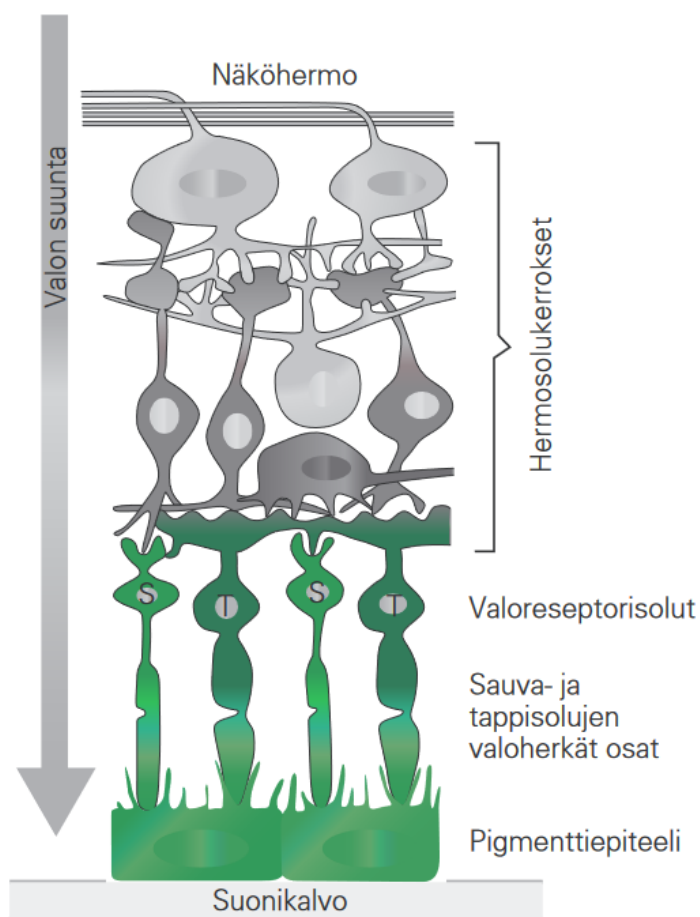


KUVIO 3. Mykiön rakenne (Laihia ym. 2009, s. 191)

Ihminen tarvitsee nähdäkseen valoa jokapäiväisessä toiminnassaan. Ihminen kykenee aistimaan näkyvän valon silmän verkkokalvolla olevien aistinreseptorien avulla, jotka koostuvat tappi- ja sauvasoluista (kuvio 4). Sauvasolujen avulla pystytään näkemään myös hämärässä, mutta tällöin ei nähdä värejä. Värit ihminen näkee tappisolujen avulla hyvin valaistussa tilassa. Värien näkemiseen ihmisellä on kolme erilaista tappisolua, jotka reagoivat eri aallonpituuksiin, sen lisäksi näkemiseen myös vaikuttaa aivojen oma tulkinta värejä nähdessään. Tappisoluja esiintyy eniten verkkokalvon keskialueella keskikuopassa ja sen lähellä, tätä kutsutaan tarkan näön alueeksi. Valon kuitenkin tarvitsee kulkea silmässä monta kohtaa saavuttaakseen valoreseptisolut, jotka vievät näköhavainnon lopulta aivoihin. Valo kulkee ensin sarveiskalvosta etukammionesteeseen, sitten värikkalvon aukosta mykiöön, seuraavaksi lasiaiseen ja lähes koko verkkokalvon kautta lopulta valoreseptorisoluihin. (Hietanen ym. 2009, s. 264)

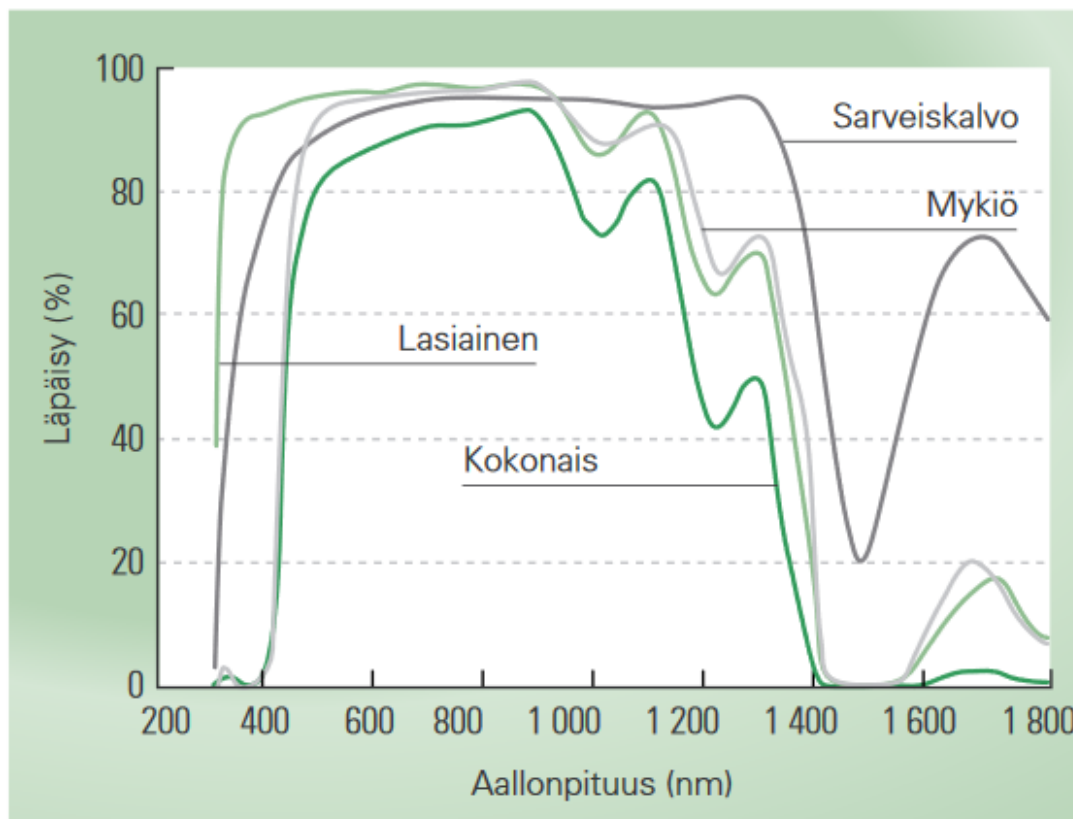
Verkkokalvo on 250 µm paksu, joka koostuu lasiaiseen rajautuvasta hermosolukerrasto sekä valoon reagoivasta näköhermon näköreseptorisolukerroksesta ja pigmenttiepiteelistä (kuvio 2 ja 4). Verkkokalvon takimmaisena kerroksena on pigmenttiepiteelikerros, hermosolukerrokset sijaitsevat taas sisempänä lähellä

lasiaista. Pigmenttiepiteelin pigmenttihiukkaset pystyvät absorboimaan suurimman osan tulevasta valosta ja estää valon heijastumien syntymisen. Suonikalvo sijaitsee verkkokalvon takana ja suojaa verkkokalvoa verenkiertonsa avulla kuljettamalla pois optisesta säteilystä syntyvää lämpöä. (Ylianttila ym. 2009, s. 52)



KUVIO 4. Verkkokalvon pigmenttiepiteeli, valoreseptorisolut, hermosolukerrokset ja näköhermo (Ylianttila ym. 2009, s. 51)

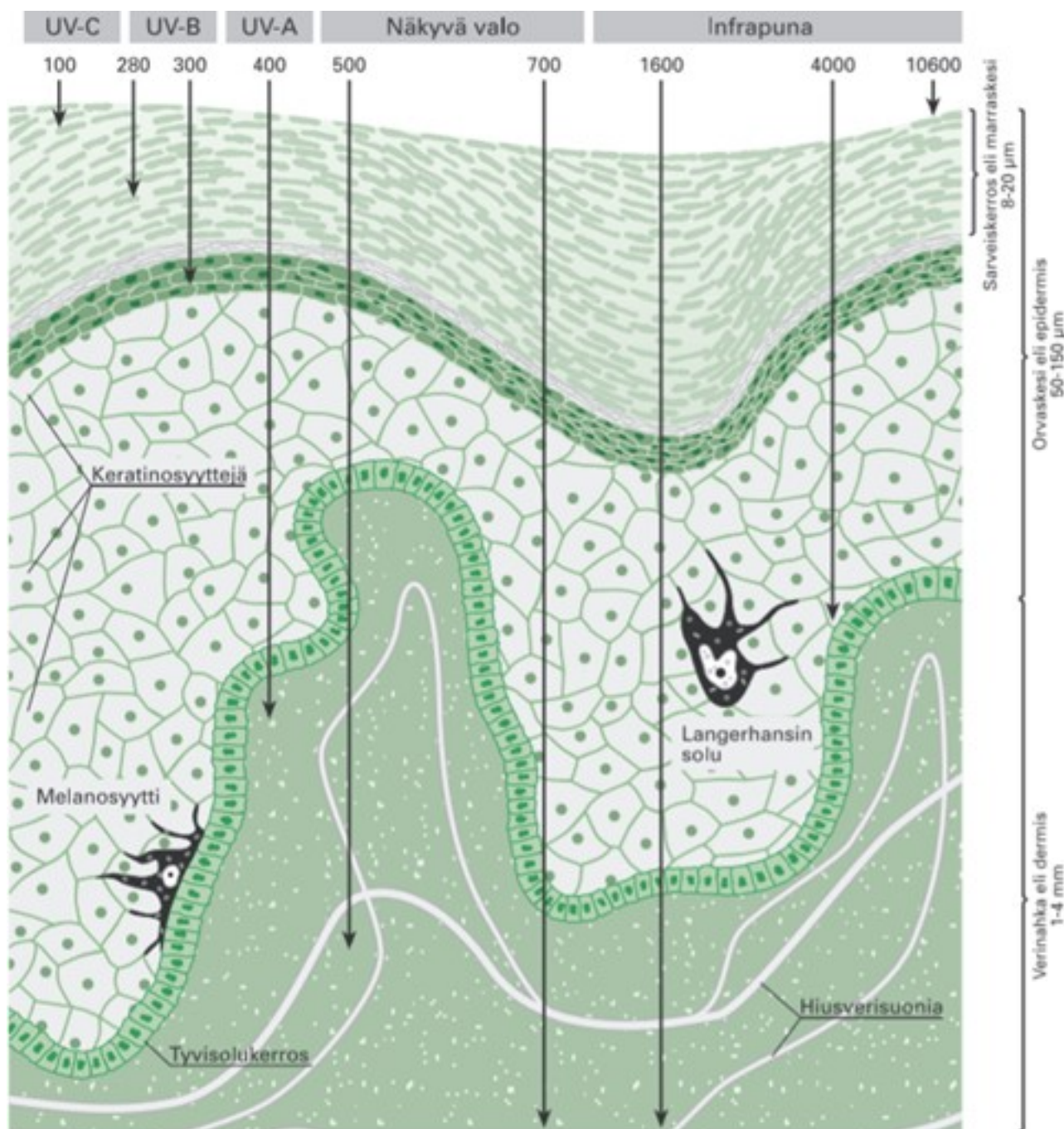
Verkkokalvolle pääsee kulkeutumaan optisesta säteilystä ultraviolettin pitkäaaltoiset UV-A-säteet (315-400 nm), näkyvän valon aallonpituudet (400-780 nm) sekä lähi-A-infrapunasäteilyn aallonpituudet (780-1400 nm). Kuviosta 5 nähdään silmien eri osien optisen säteilyn läpäiseväisyys. Optisen säteilyn alle 300 nm aallonpituudet eivät kykene etenemään silmässä sarveiskalvoa pidemmälle, mutta näkyvän valon ja infrapunon 400-1400 nm aallonpituusalueet pääsevät kulkeutumaan silmässä. Kuviosta 5 näemme sarveiskalvon, lasiaisen sekä mykiön läpäisyn ja niiden kokonaisläpäisyn. Kokonaisläpäisy kertoo silmän eri osien läpäisysuhteiden tulon, joka näyttää kuinka suuren osan sarveiskalvolle tulevasta säteilytehosta kulkeutuu verkkokalvolle. (Ylianttila ym. 2009, s. 52-53)



KUVIO 5. Silmän osien läpäisy aallonpituuden funktiona (Ylianttila ym. 2009, s. 53)

## 2.2 Ihon rakenne

Optisen säteilyn aallonpituuksilla on ominaista kulkeutua sitä syvemmälle ihoon, mitä pitempi aaltoisempaa säteily on (kuvio 6). Ihon rakenne koostuu kahdesta kerroksesta, jossa päällimmäinen kerros on sarveiskerros eli orvaskesi ja sen paksuus vaihtelee 50-150  $\mu\text{m}$ . Alempaa kerrosta kutsutaan verinahaksi, jonka paksuus on 1-4 mm. Ihon sarveiskerros koostuu kuolleista sarveissoluista ja tämän paksuus on 8-20  $\mu\text{m}$ . Sarveiskerrokseen ja orvasketeen kulkeutunut ultra-violettsäteily aiheuttaa näissä absorptiota eli säteilyn imeytymistä. (Laihia ym. 2009, s. 144-145)



KUVIO 6. Optisen säteilyn kulkeutuminen ihoon (Laihia ym. 2009, s. 145)

Sarveiskerrokseen vaikuttavat UV-C- ja UV-B-säteilyn 100 nanometrin, 280 nm ja 300 nm aallonpituudet. Nämä kaksi aiheuttavat absorptiota ihon proteiineissa, urakaanihapossa, melatiini-pigmentissä sekä DNA:ssa. Lyhytaaltainen UV-C-säteily jää suurimmalta osaltaan sarveiskerrokseen, UV-B-säteily taas absorboituu suurimmakseen orvasketeen ihon ollessa terve ja vain noin 5 % säteilystä kulkeutuu verinahkaan saakka. Vaikka UV-B-säteilystä pääsee vain murto-osa verinahkaan saakka, sen vaikutus on terveydellisesti erittäin merkittävä. Syvimmälle

ihoon kulkeutuu UV-A-säteily, joka vaikuttaa orvasketeen ja loput puolet tästä säteilystä kulkeutuvat verinahan ylimpiin kerroksiin 400 nm aallonpituuksilla. Pitkäaaltoinen UV-A-säteily pääsee vaikuttamaan ihon syvempiin eläviin soluihin, hermopäätteisiin, verisuoniin sekä ihonalaisiin tukikudoksiin. Näkyvän valon ja lähi-infrapunan IR-A-säteilyn aallonpituudet 780-1400 nanometrin pääsevät kulkeutumaan verinahan puolelle asti. Tästä pitempiaaltoisten tunkeutuvuus pienenee ihossa, kuten keski-infrapunan IR-B-säteilyn 1400-3000 nm aallonpituudet ja kaukoinfrapunan IR-C-säteilyn 3000 nm- 1 mm aallonpituudet. Suurin osa infrapun 5000 nm säteilyistä jää marrasketeen. (Laihia ym. 2009, s. 146-147)

### 2.3 Ultraviolettisäteily

Ultraviolettisäteily koostuu lyhytaaltoisesta UV-C-säteilystä, keskiaaltoisesta UV-B-säteilystä sekä pitkäaaltoisesta UV-A-säteilystä (kuvio 1 ja taulukko 1). Lyhytaaltoinen UV-C esiintyy 100-280 nanometrin alueella, keskiaaltoinen UV-B vaikuttaa 280-315 nm välillä, pitkäaaltoisin UV-A vaikuttaa 315-400 nm alueella. (Laihia ym. 2009, s. 144)

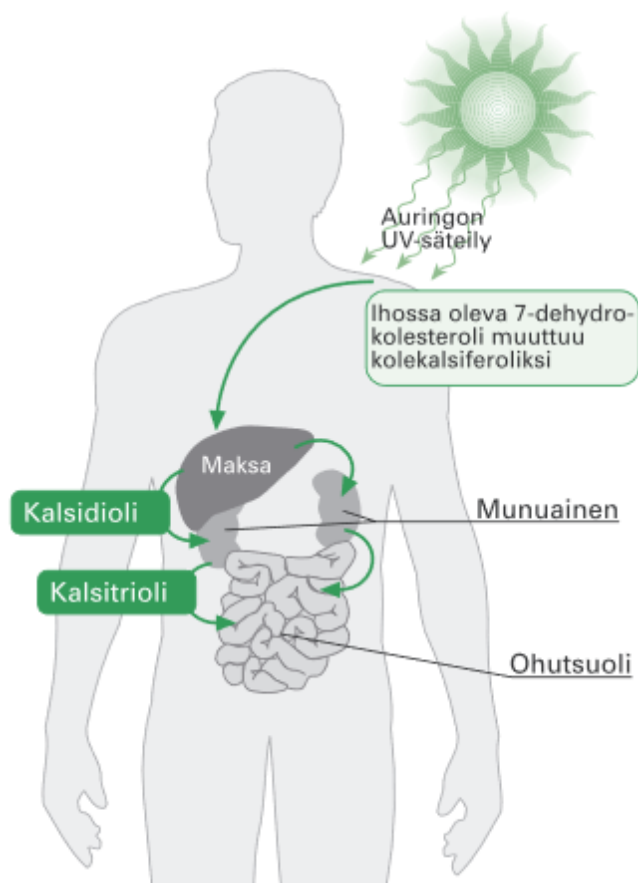
TAULUKKO 1. Ultraviolettisäteilyn aallonpituudet

<i>Säteily</i>	<i>Lyhytaaltoinen UV-C</i>	<i>Keskiaaltoinen UV-B</i>	<i>Pitkäaaltoinen UV-A</i>
<i>Aallonpituusalue, λ (nm)</i>	100-280	280-315	315-400

Ultraviolettisäteilyä (UV-säteily) saadaan jatkuvasti auringon paistaessa maapallolle. Ultraviolettisäteilyllä on hyviä, että huonoja vaikutuksia, tarvitsemme sitä elämän jatkumiseen maapallolla, mutta liiallinen altistuminen UV-säteilylle on terveydelle haitallista. Auringon lähettämästä ultraviolettisäteilystä saadaan tärkeää D-vitamiinia, joka muodostuu iholle tulevasta UV-säteilystä. Terveydelle haitalliset vaikutukset voivat näkyä erittäin nopeasti, tai vasta pitkän ajan kuluessa. Ihmisen silmät ja iho ovat herkimmät altistumaan UV-säteilylle.

Auringon lähettämästä ultraviolettisäteilystä saadaan tärkeää D3-vitamiinia ja se on myös sen suurin tuottaja. Auringon lähettämä UV-B-säteily saa aikaan ihossa

D3-vitamiinin muodostumisen. D-vitamiinia tarvitaan kalsiumin imeytymiseen ohutsuolessa, joka vahvistaa luiden muodostumista ja auttaa lihaksiston normaalia toimintaa. Auringon UV-B-säteily aiheuttaa ihon orvaskedessä fotokemiallisen reaktion ja muuttuu lopulta D3-vitamiiniksi (kuvio 7). Tämän jälkeen vitamiini kulkeutuu elimistössä maksaan ja munuaisiin, jotka jalostavat sen oikeaan muotoon ja lopulta se pääsee imeytymään ohutsuolessa. (Laihia ym. 2009, s. 159)



KUVIO 7. D-vitamiinin aineenvaihdunta elimistössä (Laihia ym. 2009, s. 161)

Liian alhainen D-vitamiinin saanti aiheuttaa kalsiumin imeytymishäiriötä ja lopulta johtaa kalsiumin puutokseen. Imeytymishäiriötä kutsutaan lapsilla riisitaudiksi ja aikuisilla osteomalasiaksi. Tämä aiheuttaa lapsilla luiden haurastumista, kasvun häiriintymistä, ruokahaluttomuutta ja infektioille herkistymistä. D-vitamiinin puutos aiheuttaa osteoporoosia eli luukatoa, jossa luun tiheys ohenee. Tutkimusten mukaan mahdollisesti sydän- ja verisuonitaudit ja nuoruusiän diabeteksen sairastumisen riski kasvaa D-vitamiinin puutteesta. Riittävä D-vitamiini saanti saattaa myös ehkäistä useilta syöviltiltä. Aurinkoisissa maissa on havaittu vitamiinin jatkuvan saannin ansiosta suojaavan rinta-, paksu-, suoli- ja eturauhassyövältä. (Laihia ym. 2009, s. 159-160)

Parhaiten D-vitamiinia saa keskipäivän aikaan UV-B-säteilystä, mutta myös ihon palaminen on tällöin herkimmillään. Tutkimusten mukaan myös UV-A tuottaa D-vitamiinia, muttei kuitenkaan yhtä tehokkaasti. Ihotyypillä on myös vaikutusta vitamiinin saantiin, tummempi iho suojaa paremmin UV-säteilyltä, mutta se myös muodostaa vähemmän vitamiinia. Riittävän määrän D-vitamiinia saa altistuessa auringolle 5-15 minuuttia ihotyypistä riippuen. Auringosta ei voi kuitenkaan saada liikaa D-vitamiinia, koska vitamiini alkaa muuttumaan iholla pitkän altistuksen saatessa epäaktiiviseksi aineenvaihduntatuotteeksi. (Laihia ym. 2009, s. 161-162)

Arkikielessä puhutaan auringon aiheuttamasta ihon palamisesta, ihon ruskettuminen ja palaminen ei johdu liiallisesta solun lämpenemisestä, vaan auringon lähettämästä ultraviolettisäteilystä. Liiallisen ultravioletti säteilyn saannin seurauksena iho palaa, jos altistuminen on ollut erittäin suurta, se voi aiheuttaa jopa toiseen asteen palovamman. Pahasti palaneeseen ihoon muodostuu rakkuloita ja siinä esiintyy turvotusta. Ihossa on tällöin tapahtunut ultraviolettisäteilyn aiheuttama valokemiallinen tulehdusreaktio, joka kertoo, että ihon sietokyky on ylitetty. Silmiin voimakas UV-säteily voi aiheuttaa välittömässä tapauksissa kipua ja tulehtumista, pitkäaikaisissa tapauksissa taas näkö voi jopa heikentyä pysyvästi. (Laihia ym. 2009, s. 155, 158)

Ultraviolettisäteilyä vastaan iholla on kuitenkin puolustusmekanismi, joka on ruskettuminen sekä sarveiskerroksen paksuuntuminen, nämä ovat kuitenkin ainoastaan elimistön suojauskeinot ultraviolettisäteilyä vastaan. Ruskettumisen ruskea väri muodostuu pigmenttisolujen tuottamasta melaniinista, joka sijaitsee orvaskeden ja verinahan rajalla. Melaniini absorboi 300-370 nanometrin UV-B- ja UV-A-säteilyn aallonpituuksia ja suojaa ihosolujen DNA:ta sekä ihon proteiineja (kuvio 6). Ultraviolettisäteilyn suora pääsy taas tekisi vahinkoa näihin. Suojaava sarveiskerros syntyy, kun orvaskeden solut alkavat jakaantua ja niiden lukumäärä kasvaa. Tämän jälkeen paksuuntunut sarveiskerros kykenee absorboimaan enemmän säteilyä. Tähän kuitenkin saattaa mennä päiviä tai viikkoja, riippuen kuinka usein altistuu UV-säteilylle. Ihmisen ihon on hyvä antaa totuttautua aurinkoon vähitellen, jotta ihon luontaiset suojausmekanismit ehtivät kehittyä. Kestorusketusta ei myöskään ole suositeltavaa pitää, sillä ihon jatkuva polttaminen, sekä jatkuva



ruskettuminen vanhentavat ihoa ennenaikaisesti. Auringolta on myös hyvä suojautua tarpeen vaatiessa hyvällä vaateuksella, aurinkorasvalla, päähineillä sekä aurinkolaseilla. (Laihia ym. 2009, s. 147, 151, 153, 155)

Ihon palamista aiheuttaa UV-A-säteily sekä UV-B-säteily, näistä UV-B polttaa ihoa enemmän. Pitkäaaltoisen UV-A-säteilyn on havaittu vaikuttavan ihosyöpien syntymiseen ja sen kehittymiseen lisäävästi. Pitkäaaltoinen UV-A-säteily aiheuttaa ensin näkyvän palamisen merkin iholla, joka näkyy punoituksena heti altistumisen hetkellä. Tämä kuitenkin häviää hetkeksi ja tulee lopulta esiin uudestaan 6-24 tunnin kuluttua, kun iho ei ole enää UV-säteilyn vaikutuksen alaisena. Keskiaaltoisen UV-B-säteilyn on taas havaittu vahingoittavan DNA:ta, jolla saattaa olla paljon suurempi vaikutus. Keskiaaltopituisen UV-B-säteilyn aiheuttaman vauriot ovat havaittavissa vasta useamman tunnin kuluttua altistumisesta. Lopulliset vauriot nähdään vasta 8-24 tunnin kuluttua. Auringon lähettämä UV-säteily aiheuttaa soluvaurioita jo ennen ihon palamista. (Laihia ym. 2009, s. 155)

Liian voimakkaan UV-säteilyn vaikutuksesta ihon solut voivat ajautua solukuolemaan ja solut eivät enää pysty korjaamaan itseään. Ihossa tapahtuvassa solukuolemässä on kuitenkin etunsa, jolloin kuolleista soluista ei voi kehittyä syöpäsoluja. Ihon parantuminen kestää päiviä tai jopa viikkoja, jolloin iho hilseilee ja terve iho tulee lopulta esiin. Vauriot DNA:ssa, proteiineissa ja solukalvoissa parantuvat suurimmalta osin. Vaarana on kuitenkin, että korjausprosessi lopulta ylikuormittuu, jos altistuminen on jatkuvaa ja pitkäaikaista. Iho ei lopulta ei pysty enää korjaamaan vaurioita tai korjaa ne väärin. Väärin korjautuneet mekanismit DNA:ssa aiheuttavat soluissa tapahtuvaa mutaatiota. Lopulta solun mutaatiosta saattaa kehittyä pitkän ajan kuluessa syöpäsolu. (Laihia ym. 2009, s. 158)

Ihon lisäksi silmät ovat UV-säteilylle erityisen herkätkä koko elinajan ihmisellä. Lapsen silmät ovat paljon herkemmiä säteilyn vaikutuksille, kuin aikuisten. Lapsilla mykiö eli silmän linssi päästää enemmän UV-säteilyä lävitseen kuin aikuisen, säteily pääsee kulkeutumaan lopulta verkkokalvolle asti ja samalla rappeuttaen sitä (kuvio 3). Ultravioletisäteilyn tiedetään aiheuttavan monia silmäsairauksia. Ultravioletin terveydelliset vaikutukset silmään voivat olla välittömiä tai pitkäaikaisia vaikutuksia. Välittömissä tapauksissa silmiin voi muodostua harmaakaihia ja pitkäaikaisissa esiintyy rappeutumissairauksia, sekä pahanlaatuisia silmäsairauksia.

Ultravioletin eri aallonpituuksilla on omat läpikulkeutuvuutensa silmän rakenteessa, kaikki eivät pääse kulkeutumaan mykiöön asti aiheuttamaan vahinkoa. Lyhytaaltainen UV-C-säteily esimerkiksi absorboituu suoraan silmän sarveiskalvoon ja suurimmaksi osakseen myös UV-B-säteily, jolloin mykiö säästyy hyvin haitalliselta säteilyltä. UV-B-säteilyn 305-315 nm aallonpituudet kuitenkin pääsevät mykiöön asti. Pitkäaaltainen UV-A-säteily pääsee suurimmalta osaltaan mykiöön asti, mykiö ei ole kuitenkaan ole herkkä 320 nm aallonpituuksille. Ultravioletin välittömässä haittavaikutuksessa altistutaan lyhytaikaisesti voimakkaalle UV-säteilylle. Voimakas UV-säteily voi aiheuttaa silmän sarveiskalvoon ja sidekalvoon tulehduksen, sekä aiheuttaa silmän pintaan kipua ja kyynelvuotoa, sen lisäksi silmä on herkkä valolle. Tätä kutsutaan lumisokeudeksi taikka hitsaajan silmäksi, joka aiheutuu juuri suuresta silmän UV-säteilynaltistuksesta. Lumi pystyy heijastamaan UV-säteilystä takaisin jopa 80-85 prosenttia. Aiheuttaja on suurimmaksi osakseen UV-C-säteilyn 270 nm aallonpituudet. Oireet näkyvät useamman tunnin päästä. Vakavimmat tapaukset kestävät 6-24 tuntia ja parin vuorokauden päästä silmät alkavat parantua. Usein tämän laisissa tapauksissa sarveiskalvolle ei jää pysyviä vauriota. (Laihia ym. 2009, s. 190)

Ultravioletisäteilyn on havaittu aiheuttavan harmaakaihin syntymistä, jonka vuoksi silmän linssissä tapahtuu samentumista pitkän ajan altistumisen vuoksi, joka heikentää lopulta näköä. Näön heikkeneminen johtuu siitä, että mykiön solut eivät pysty uusiutumaan, jolloin vaurio on pysyvä. Haittavaikuttajana on erityisesti altistuminen suurissa määrin UV-B-säteilylle, mutta taas UV-A-säteilyn ei ole havaittu aiheuttavan haittaa. Suomessa yli 70-vuotiailla noin kahdella kolmasosalla on havaittu mykiösamentumista. Harmaakaihilla on kolme alatyyppeä, jotka ovat; tumakaihiini ja sitä esiintyy mykiön ytimessä, kuorikerroksen kaihiini, sekä kapselin alainen kaihiini. Pahalaatuisiin silmätauteihin kuuluu mm. silmän melanooma, joka voi esiintyä silmän suonikalvolla, värikalvolla, sädekehällä tai sidekalvolla. Melanooma havaitaan harvemmin kuitenkin juuri silmässä ja noin 3-5 % kaikista melanoomista esiintyy silmän kohdalla. Ultravioletisäteilyn on arvioitu aiheuttavan silmään melanoomaa, koska se aiheuttaa ihomelanoomaa. Tästä ei ole vielä kuitenkaan täysin varmoja ja lisätutkimuksia tarvitaan. (Laihia ym. 2009, s. 191-192, 195)

Jatkuva ja pitkäaikainen altistuminen ultraviolettisäteilylle voi aiheuttaa pahimmillaan jopa ihosyöpää. Viime vuosikymmenien aikana on todettu ihosyöpään sairastuneiden lukumäärän merkittävästi kasvaneen 1950-luvusta lähtien. Ihosyöpien syntymiseen on havaittu ultraviolettisäteilyllä olevan merkittävä vaikutus. Ihosyöpiä esiintyy eniten ruumiinosissa, joihin aurinko on päässyt vaikuttamaan, joita ovat yleensä pään ja kasvon alueet. Ultravioletin vaikutukset ovat jokaisen kohdalla omanlaisensa. Erityisen herkkiä UV-säteilylle ovat vaaleaihoiset sekä vaikeasti ruskettuvat, joiden iho ei suojaa paljoa auringolta ja iho palaa helposti. Valkoinen iho päästää lävitseen hyvin ultraviolettisäteilyä. Ihosyövät ovatkin yleisempiä juuri vaaleaihoisilla, kuin tummaihoisilla. Yleisimpiä ihosyöpiä ovat tyvisolu-, okasolusyöpä ja melanooma. Taulukosta 2 nähdään ihosyöpien riskitekijöitä eri ihosyöpiin. (Laihia ym. 2009, s. 169)

TAULUKKO 2. Ihosyöpien riskitekijöitä (Laihia ym. 2009, s. 172)

Altiste	Ihosyöpätyyppi		
	Tyvisolu- syöpä	Okasolu- syöpä	Mela- nooma
Ihotyyppi	++	+	+
Ulkotyö	+/-	++	-*
Palamiset	++	+*	++
Etelänmatkat	++	+	++
Solarium	+*	+*	++
Aurinkosuojavoide	?	?	?

++ vahva                      - ei vaikutusta                      ? ei tietoa  
 + kohtalainen                +/- ei osoitettua vaikutusta  
 \* tutkimustieto riittämätöntä

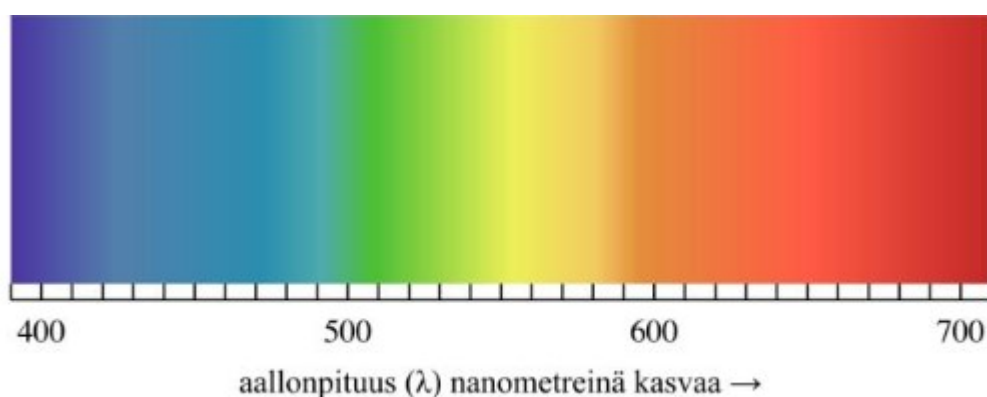
## 2.4 Näkyvä valo

Ihminen kykenee näkemään vain osan sähkömagneettisesta spektristä ja tätä kutsutaan näkyväksi valoksi. Ultraviolett- ja infrapunasäteilyä ihminen ei kykene näkemään. Näkyvän valon spektristä kykenemme havaitsemaan ainoastaan violetin, sinisen, vihreän, keltaisen, oranssin ja punaisen (taulukko 3). Spektrillä tarkoitetaan sähkömagneettisen säteilyn jakautumista eri aallonpituuksiin. Auringon päivän aikainen valo koostuu näistä kaikista aallonpituuksista ja näkyy valkoisena. (Hietanen, Visuri & Nyberg 2009, s.264; Ilmatieteen laitos n.d.)

TAULUKKO 3. Näkyvän valon aallonpituudet

Säteily	Violetti	Sininen	Vihreä	Keltainen	Oranssi	Punainen
Aallonpituusalue, $\lambda$ (nm)	400-430	430-490	490-560	560-590	590-630	630-780

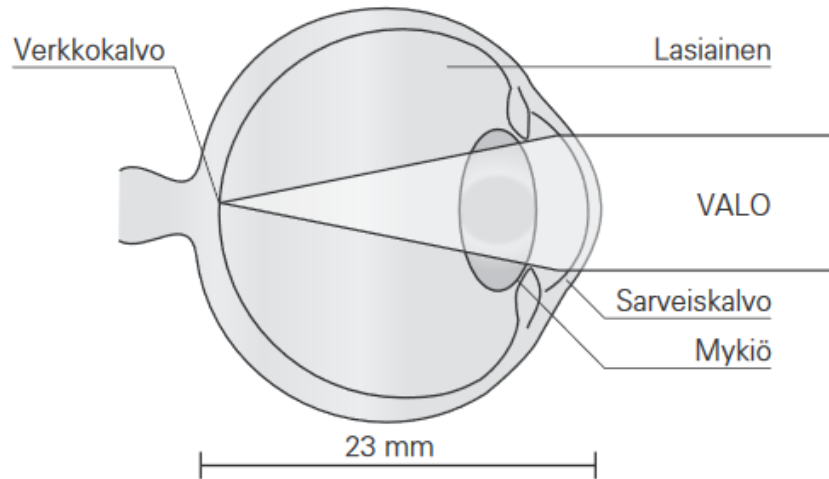
Valo on näkyvää säteilyenergiaa ja sähkömagneettista säteilyä, joka säteilee aaltomaisesti valonnopeudella. Valo ei tarvitse väliainetta kulkeakseen, vaan siirtyy parhaiten tyhjiössä ja kiinteässä aineessa sen nopeus vähenee. Valon osuessa kappaleeseen, se voi absorboitua, läpäistä kappaleen tai heijastua. Näkyvä valon spektri pitää sisällään 400-780 nm aallonpituuksia (kuvio 8). (Ilmatieteen laitos n.d.)



KUVIO 8. Näkyvän valon spektri (Wikipedia 2011)

Näkyvä valo voi vahingoittaa verkkokalvoa ja aistinsoluja, tällöin valo on ollut suuri tehoista (kuvio 9). Voimakasta valoa saattaa esiintyä esimerkiksi valoheittimissä, joita käytetään televisiostudioissa, näyttämöissä ja teattereissa. Verko-

kalvon keskikuoppaan pienikin kohdistunut vaurio voi heikentää merkittävästi näköä, koska täällä sijaitsee tarkan näkemisen alue. Vahingon sijoittuessa verkkokalvon reuna-alueille, vahingon suuruus ei ole yhtä vakavaa. Verkkokalvolle aiheutunut vaurio voi olla tilapäinen tai pysyvä. (Ylianttila & Jokela 2009, s. 52; Hieta-nen ym. 2009, s. 264-265)



KUVIO 9. Valon kulkeutumien verkkokalvolle (Ylianttila & Jokela 2009, s. 56)

Silmän verkkokalvo pystyy vahingoittumaan kahdella eri tavalla, jotka aiheutuvat suuresta lämmöstä tai fotokemiallisesta muutoksesta. Näkyvän valon aiheuttava lämpövaurio syntyy, kun valo poistuu johtumalla pigmenttiepiteelikerroksesta pois. Teho ilmoitetaan näkyvän valon aallonpituuksille mikrowatteina nelisenttimetriä kohden ( $\mu\text{m}/\text{cm}^2$ ). Verkkokalvolle muodostuvan kuvan koolla on merkitystä vaurioon, kuvan ollessa pieni silmän kudoksesta kykenee jäähtymään huomattavasti paremmin, kuin suuren kuvan. Hyvä esimerkki on tästä, että säteilyn vaikuttaessa sekunnin ajan silmän verkkokalvoon ja tehon ollessa  $10 \text{ W}/\text{cm}^2$ , syntyy verkkokalvolle  $1000 \mu\text{m}$  kuva ja myös vaurio. Verkkokalvo kuitenkin kestää 1 sekunnin ajan, jos säteilyteho on  $1 \text{ kW}/\text{cm}^2$  (kilowatti kuutiosenttimetriä kohden) ja kuvan ollessa  $20 \mu\text{m}$  suuruinen. Fotokemiallinen vaurio syntyy taas, kun valon säteilykvanteilla on suuri energia. Esimerkiksi hitsauksessa esiintyy lyhytaaltoista valoa, jolta suojaudutaan käyttämällä hitsausmaskeja (kuva 1). Lyhyt altistuminenkin hitsauksen valokaarelle voi aiheuttaa vahinkoa, vaikka ei olisikaan valon vieressä. Näkyvän valon ollessa lyhytaaltoista sinistä valoa (alle  $500 \text{ nm}$  aallonpituudet), valon fotonilla paljon suurempi energia, kuin vihreän ja punaisen aallonpituuksilla. Fotokemiallinen vaurion mahdollisuus kasvaa, mitä suurempi energia

on fotonilla. Vaurio voi syntyä silmässä oleviin tappi- ja sauvasoluihin fotopigmenttien absorboidessa säteilyä, tai verkkokalvon pigmenttiepiteelikerroksen melaniinijyvästen absorboidessa valoa. Näihin aiheutunut vauriot heikentävät verkkokalvon toimintoja ja samalla myös näköä. (Hietanen ym. 2009, s. 266)



KUVA 1. Hitsausliekki (Wikimedia Commons 2005)

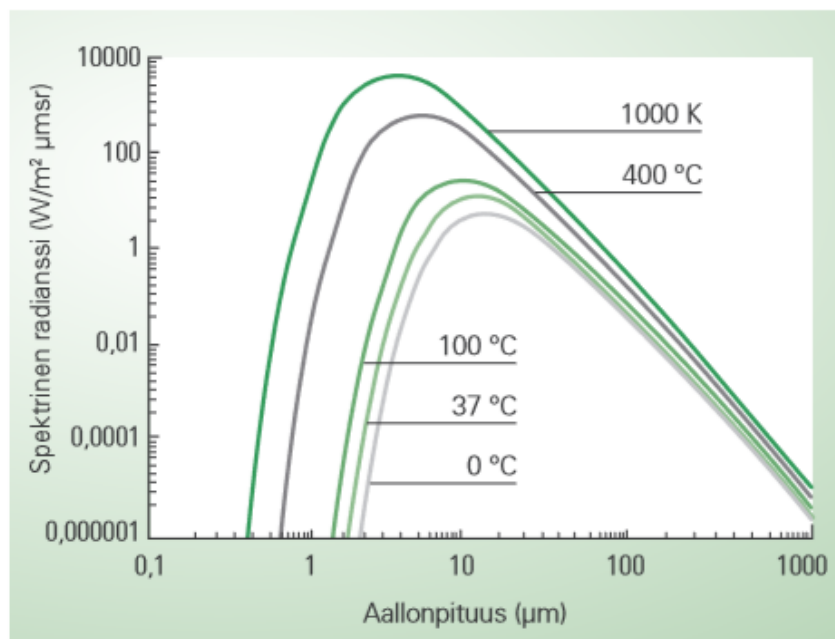
## 2.5 Infrapunasäteily

Infrapunasäteily (IR-säteily) on lämpösäteilyä, jonka voi tuntea lämpönä iholla. Lämpösäteily on ihmissilmälle näkymätöntä sähkömagneettista säteilyä. Infrapuna kykenee heijastumaan ja taittumaan samalla tapaa kuin valo. Infrapuna on pidempi aaltoisempaa UV-säteilyyn ja näkyvään valoon verrattuna. Infrapunasäteilyn aallonpituudet alkavat 780 nanometristä ja päättyvät yhteen millimetriin (taulukko 4). Infrapunasäteily koostuu IR-A-säteilystä, joka esiintyy 780-400 nm alueella, keski-IR-B-säteilystä ja se esiintyy 1400-3000 nm, kauko-IR-C-säteilystä, joka vaikuttaa 3000 nm-1 mm. (Hietanen ym. 2009, s. 271-272; Kuusela 2015; Kattelus 2018, s. 4)

TAULUKKO 4. Infrapunasäteilyn aallonpituudet

<i>Säteily</i>	<i>Lähi-IR-A</i>	<i>Keski-IR-B</i>	<i>Kauko-IR-C</i>
<i>Aallonpituusalue (nm)</i>	780-1400	1400-3000	3000-1000 000

Jokaisella kappaleella on ominaista säteillä infrapunasäteilyä tietyn verran, joka on riippuvainen säteilevän kappaleen lämpötilasta. Alhaalla olevasta kuviosta näemme säteilevän kappaleen lämpötilan käyttäytymisen. Pystysuunnan y-akselin suunnassa nähdään lämpösäteilyn suuruus watteina (W) neliömetriä (m<sup>2</sup>) kohden ja vaakatason x-akselin suunnassa nähdään aallon pituus mikrometreinä (µm). Kuvasta nähdään, että mitä kuumempi säteilijä on, sitä lyhyt aaltoisempaa säteily on ja sitä suurempaa energiaa se lähettää. (Hietanen ym. 2009, s. 272)



KUVIO 10. Säteilevän kappaleen lämpötilan vaikutus sen lähettämään IR-säteilytehoon (Hietanen ym. 2009, s. 272)

Infrapunasäteilyllä on myös hyviä ja huonoa vaikutuksia. Lämpösäteilyä käytetään terveydenhuollossa fysikaalisena hoitomenetelmänä, jossa lämmitetään ja rentoutetaan lihaksia, parannetaan verenkiertoa sekä aineen vaihduntaa. Lämpösäteilyllä on pienempi energisempää, kuin näkyvä valo tai UV-säteily. Infrapunasäteilyn osuessa kudokseen, imeytyy tämä energia synnyttäen värähtelyä ja lämpenemistä solussa. Haittaa aiheuttavat vaikutukset esiintyvät lähinnä altistuessamme liialle infrapunasäteilylle. (Hietanen ym. 2009, s. 272)

Suuri infrapunsa saanti saattaa aiheuttaa kudoksissa vahinkoa ja aiheuttaa palovammoja. Lämpöenergian ylittäessä kudoksen sietokyvyn tapahtuu ylikuumenemista ja tällöin soluja voi tuhoutua. Hälyttävä merkki on, kun iho alkaa punoittaa ja altistuvassa kohdassa alkaa tuntua kipua. Ihmisen silmät ovat kuitenkin huomattavasti herkempiä vaurioitumaan, kuin iho. Esimerkiksi voimakasta infrapunasäteilyä esiintyy teollisuudessa käsitellessä metalleja ja lasia. Lasinsulatuksessa sulatusuunien työskentelevät työntekijät voivat saada päivittäin 20 Megajoulea neliometriä kohden ( $\text{MJ/m}^2$ ) säteilyannostuksen, joista 10 prosenttia on infrapunaa 1400 nanometrin (nm) säteilyä. (Hietanen ym. 2009, s. 272-273)

Infrapunaa eri aallonpituuksilla on omat tunkeutumissyvyytensä. Lähi-infrapunasäteily (IR-A-säteily) vaikuttaa yhden millimetrin syvyyteen asti ihossa ja sen



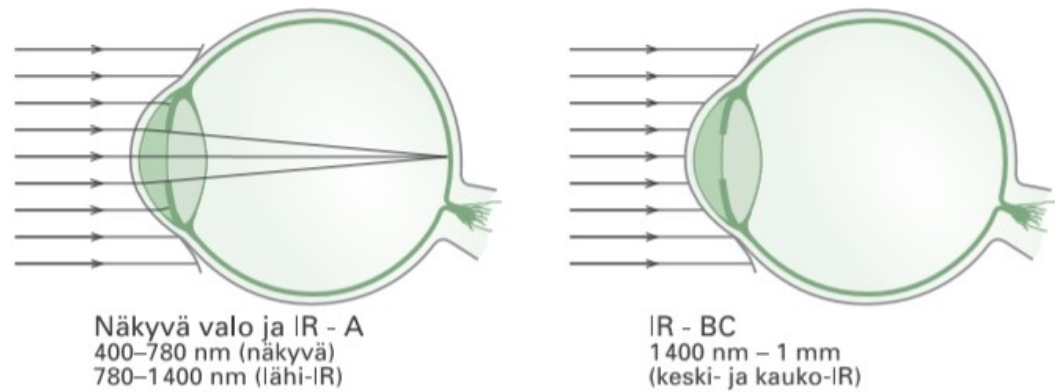
tunkeutumissyvyys on suurempi, kuin muilla IR-säteillä. Keski-infrapunasäteily (IR-B-säteily) sekä kauko-infrapunasäteily (IR-C-säteily) vaikuttavat vain pinnallisiin kudoksiin. Tähän asiaan vaikuttavat ihossa olevat vesimolekyylit, jotka absorboivat säteilyä. Kauko-IR-C-säteilyn 5000 nm aallonpituudet absorboituvat lähes kokonaan vesimolekyyleihin ja vaikuttavat ihon päällisiin kerroksiin (marasketeen). Lähi-infrapun (IR-A) ominaisuuksien vuoksi sitä käytetäänkin lämpöenergian tuottamiseen verisuonistoon sekä lihaskudoksiin. (Hietanen ym. 2009, s. 272-273)

Infrapunasta aiheutuvan lämpövaurion laajuus määräytyy kudoksen lämmönjohtavuus ominaisuuksien mukaan. Esimerkiksi lämmenneen kudoksen ympäröivien osien kyetessä vapauttamaan riittävän tehokkaasti pois lämpöenergiaa, vaurioita ei synny. Kudoksen sietokyvyn ylittyessä, syntyy lämpövaurio ylikuumenemisen vuoksi. Kauko-infrapuna (IR-C-säteily) ei aiheuta normaali tilanteissa haittavaikutuksia ihoon tai silmiin.

Ihmisen silmät ovat huomattavasti herkemmat vaurioitumaan infrapunasäteilystä ja myös aiheutuvat vahingot huomattavasti vakavampia. Pahimmillaan silmään tullut vaurio voi johtaa näön pysyvään heikkenemiseen. Infrapunasäteily ei kuitenkaan yksin pysty aiheuttamaan fotokemiallista reaktiota, vaan tämä voi tapahtua liiallisen ultravioletisäteilyn yhteisvaikutuksena. Ihmisen silmämuna on halkaisijaltaan noin 2,4 cm leveä (kuvio 11). Lähi-infrapun (IR-A) alle 1400 nm aallonpituudet kulkeutuvat verkkokalvolle saakka silmän perälle, kun taas 1400-1900 nm säteet absorboituvat sarveiskalvoon ja etukammionesteeseen. Yli 1900 nanometrin säteet jäävät taas sarveiskalvoon. Toisin sanoen lyhyt aaltolisellä säteilyllä on tehokkaampi tunkeutumiskyky. (Hietanen ym. 2009, s. 273)

Optiselle säteilylle on määritelty kansainvälisen järjestön ICNIRPin toimesta raja-arvot, joita noudattamalla optinen säteily ei aiheuta vaaraa. Noudattamalla infrapunaan koskevia altistumisrajoja silmään ei synny lämpövaurioita, kun pysytään sallittujen rajojen alapuolella. Silmän altistumisrajat infrapun 780-3000 nm (IR-A ja IR-B) aallonpituuksille jaetaan jatkuvaan altistumisen ja tilapäisen altistumisen raja-arvoihin. Jatkuvan altistumisen raja-arvo on altistumisajan ollessa yli 1000 sekuntia ja tehon suuruuden ollessa  $100 \text{ W/m}^2$ . Tilapäisen altistumisen raja-arvon altistumisajan on oltava vähemmän tai yhtä suuri kuin 1000

sekuntia ja tehon ollessa  $1000 \text{ W/m}^2$ . Infrapunan haittavaikutuksina voi olla sarveiskalvoon tai verkkokalvon syntyvä palovamma. (Hietanen ym. 2009, s. 274-275)



KUVIO 11. Optisen säteilyn tunkeutuminen silmään (Jokela ym. 2009 s.78)

### 3 Valonlähteet

Seuraavaksi käydään läpi mitä optisen säteilyn valonlähteitä on olemassa ja mihin tarkoitukseen niitä käytetään. Monet valaisimet lähettävät useita optisen säteilyn aallonpituuksia, vaikka yleensä käyttötarkoituksena on saada vain haluttuja aallonpituuksia. Pääsäteilyn lisäksi tietyissä valonlähteissä syntyy usein sivutuotteena muitakin optisen säteilyn aallonpituuksia. Valmistajat pyrkivät valaisimien lähettämään ainoastaan käyttötarkoituksen mukaista optista säteilyä ja suodattamaan ylimääräiset aallonpituudet pois, tai rajoittamaan nämä sallittuihin arvoihin. Tästä hyvä esimerkki on loisteputki, joka lähettää näkyvä valoa ja myös ultraviolettisäteilyä.

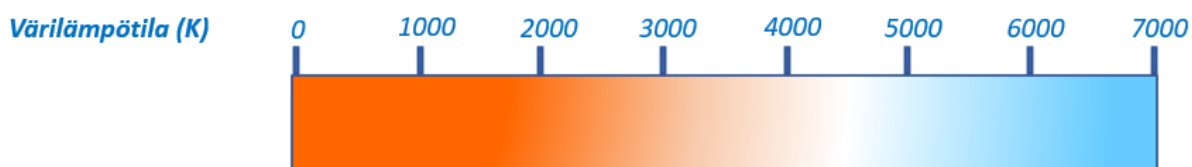
Taulukkoon 5 on kerätty eri valonlähteitä. Taulukosta nähdään esimerkiksi monimetallilamppujen lähettävän ultraviolettisäteilyä sekä näkyvää valoa. Monimetallilampun näkyvän valon aallonpituuksilla vaikuttavat eniten violetin-, vihreän- ja punaisen aallonpituudet. Ultravioletin pituuksilla vaikuttaa eniten UV-B-säteily. Suurimmat vaikuttavat aallonpituudet ovat merkattu taulukkoon kahdella x:llä. Monimetallilamppujen ja muiden valonlähteiden aallonpituuksien spektri määräytyy käyttötarkoituksen mukaan. Näkyvän valon aallonpituuksia käytetään valaistukseen ja UV-B säteilyä kosmeettisiin tarkoituksiin. (Halonen ym. 1992, s. 264; Ylianttila ym. 2009, s.228)

TAULUKKO 5. Optisen säteilyn valonlähteitä

		Valonlähteet								
Säteily	Aallonpituusalue, $\lambda$ (nm)	Aurinko	Monimetalli- lamput	Sekavalo- lamput	LED	Loiste- lamput	Heijastinloiste- lamput	Mustavalo- lamput	Pienpainenatrium- lamput	Suurpainenatrium- lamput
UV-C	100-280	x			x	x				
UV-B	280-315	x	xx	xx	x	x	xx			
UV-A	315-400	x			x	x	xx	xx		
Näkyvä valo	400-430	xx	xx		x	x		x		x
	430-490	xx	x	x	x	x				x
	490-560	xx	xx		x	x				xx
	560-590	xx	xx	x	x	x			xx	xx
	590-630	xx	x		x	x				xx
	630-780	xx	x	x	x	x		xx		x
IR-A	780-1400	xx	x		x			x		x
IR-B	1400-3000	xx			x					
IR-C	3000-10 <sup>6</sup>				x					

Ledi taas kykenee lähettämään kaikkia optisen säteilyn aallonpituuksia, mutta se pystyy säteilemään vain yhtä aallonpituutta kerrallaan, jonka määrää ledien valmistusmateriaali. Näkyvän valon valonlähteitä ovat pienpaine- ja suurpainenatriumlamput. Ultraviolettasäteilyä lähettäviä valaisemia ovat heijastinloistelamput ja näitä kumpaakin lähettävät ovat; aurinko, monimetallilamput, sekavalolamput, ledit, loistelamput ja mustavalolamput. Taulukon 5 valonlähteiden aallonpituudet ovat suuntaa antavia.

Näkyvää valoa käytetään yleensä tilojen ja kohteiden valaistukseen. Näkyvää valoa tehdessä keinotekoisesti pyritään usein jäljentämään ”luonnollista valoa”, joka syntyy auringon valon hajasäteilystä ympäristöön. Väriltään tämä on valkoista valoa (väritöntä valoa), väriämpötilaltaan tämä vastaa yli 5000 kelviniä (K) ja värintoistoindeksinä tämä on 89 (kuvio 12). Väriämpötilalla vaikutetaan valolähteen lähettämän värin sävyyn, jonka mittayksikkönä on Kelvin (K). Mitä korkeampi tämä arvo on, sitä sinisempää on valo ja mitä alhaisempi tämä luku on, sitä keltaisempaa valo on. Värintoistoindeksi taas kertoo miten hyvin valonlähteen lähettämä valo näyttää värit sellaisina kuin ne ovat. Tämä lukuarvo ilmastaan 0...100 luvun välillä, jossa 0 vastaa etteivät värit toistu lainkaan ja 100 vastaa värintoiston olevan täydellinen. Esimerkiksi toimistoissa värintoiston on hyvä olla vähintään 80, mutta ulkovalaistuksessa tämä voi olla huomattavasti pienempi. Esimerkiksi 3000 K lämpimän valkean väri on kellertävän valkoista ja 4000 K kirkkaan valkea on enemmän siniseen vivahtavaa (kuvio 12). (Halonen ym. 1992, s.282; Limente n.d.)



KUVIO 12. Väriämpöasteikko (Limente n.d., mukailten)

Valonlähteet voidaan jakaa kahteen ryhmään valon tuottotavan mukaan; termiseen- (lämpöliikesäteily) ja luminesenssisäteilyyn (kuvio 13). Termisessä säteilyssä näkyvää valo tuotetaan kuumentamalla ainetta, joka säteilee lopulta valoa

sekä infrapunasäteilyä. Esimerkiksi hehkulampun valontuotto perustuu lämpösäteilyyn, jossa lämmitetään hehkulankaa. Luminesenssisäteilyssä valo syntyy säteilevien aineiden avulla. Luminanssi säteilijöitä ovat mm. neonlamput, loistelamput, purkauslamput, elektroluminesenssipaneelit ja valoa lähettävät ledit. Loistesäteilyä syntyy sähköpurkauksen tapahduttua loisteaineissa tai puolijoh-teissa. (Halonen ym. 1992, s. 157)

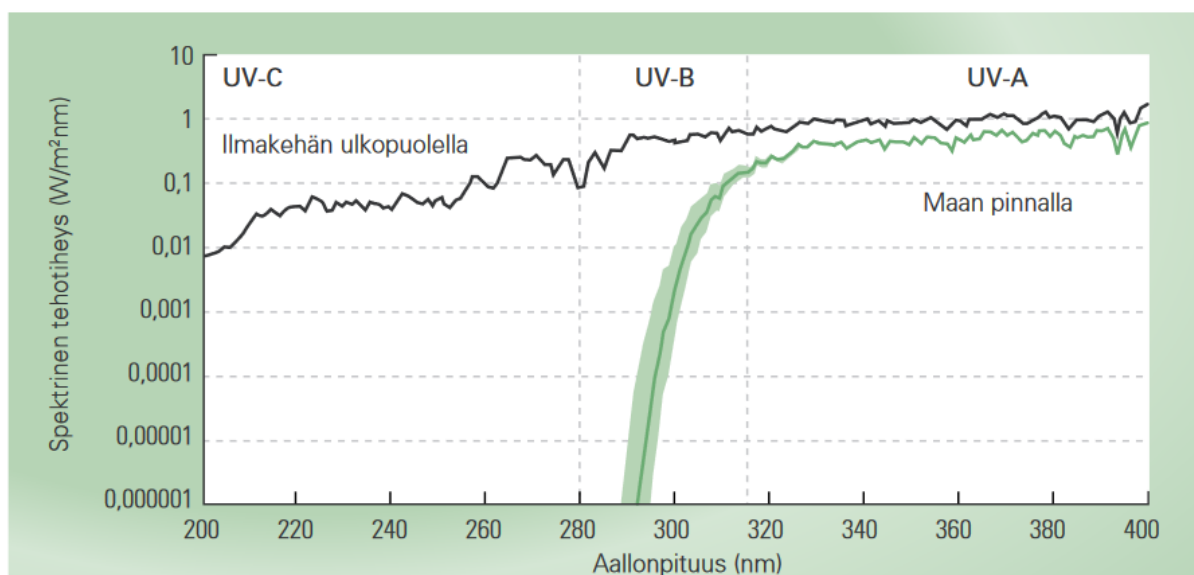


KUVIO 13. Valontuotto (Halonen ym. 1992, s. 158 mukailten)

Ultraviolett-lampuilla tuotettu UV-säteily perustuu lampussa olevan kaasun synnyttämään kaasupurkaukseen, jonka saa aikaan lamppuun tuotu sähköenergia ja se tuottaa lopulta halutun sähkömagneettisen säteilyn. Lamppuja on olemassa kahden tyyppisiä, jotka jaetaan matala- ja suurpaineisiin kaasupurkauslamppuihin. Matalapurkauslampuilla tuotetaan pienempiä määriä UV-säteilyä. Suurpaineisillalampuilla taas tuotetaan tehokkaampaa UV-säteilyä ja nämä ovat yleensä erikoislamppuja. (Ylianttila ym. 1009, s. 226)

### 3.1.1 Aurinko

Auringosta tulevaa valoa kutsutaan myös päivänvaloksi, joka koostuu suorasta auringon valosta, taivaan hajasäteilystä, sekä näiden kummankin aiheuttamista ympäristöstä heijastuvista säteilyistä. Päivän valon spektrin muoto ja sen väriominaisuudet vaihtelevat jatkuvasti ja ne vaikuttavat valon värilämpötilaan. Suoran auringon valon värilämpötilan suuruus on noin 5500 kelviniä (K) sen ollessa yli 30 asteen kulmassa. Pilvisellä säällä värilämpötila on 4500...7000 K välillä, auringon ollessa matalalla on myös värilämpötila alhaisempi. Aurinko lähettää meille joka päivä optista säteilyä, josta 8 prosenttia on ultraviolettisäteilyä (UV), 45 % infrapunasäteilyä (IR) ja 47 % näkyvää valoa. Maan pinnalle pääsee kulkeutumaan UV-A-säteilyä noin 90-99 prosenttia, sekä UV-B-säteilyä pääsee noin 1-10 prosenttia. Keskiaaltoisen UV-B-säteilyn energia on jopa 100-1000 kertaa suurempi, kuin UV-A-säteilyn. (Ylianttila ym. 2009, s. 204; Halonen ym. 1992, s. 282)

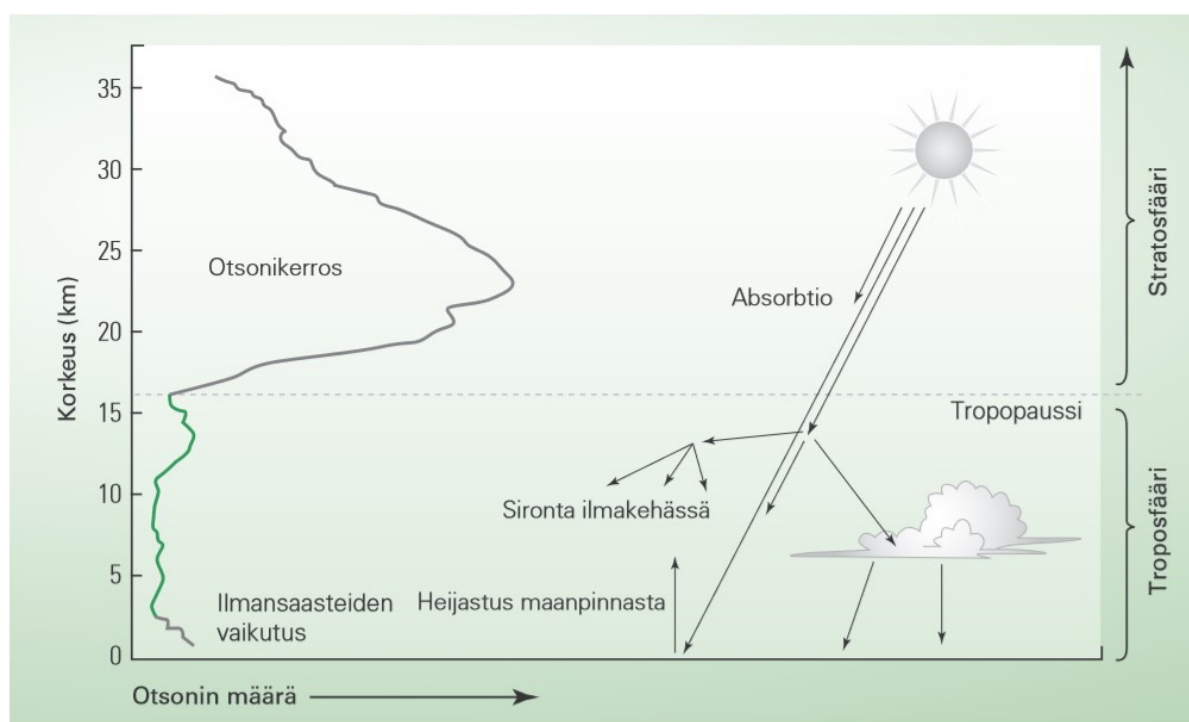


TAULUKKO 6. Auringon spektri ilmakehän ulkopuolella ja maan pinnalla (Ylianttila ym. 2009, s. 205)

Ilmakehällä on suuri vaikutus auringon lähettämään UV-säteilyn suuruuteen. Ilmakehän otsonikerros absorboi pois täysin lyhytaaltoisen UV-C-säteilyn ja auringosta meille kulkeutuu ainoastaan UV-A- ja UV-B-säteilyä (taulukko 6). Absorptiolla tarkoitetaan säteilyenergian imeytymistä. Lopulta absorboitunut otsonikerros

säteilee säteilyenergiansa takaisin avaruuteen. Alhaalla olevasta kuviosta näemme auringon säteilyn kulun ilmakehässä (kuvio 14). Auringon lähettämästä UV-säteilystä suurin osa absorboituu otsonikerrokseen, jota esiintyy 15-40 km korkeudella stratosfäärissä. (Ylianttila ym. 2009, s. 204-205)

Absorption jälkeen tapahtuu sirontaa ilmakehän troposfäärissä, sironnassa ilmakehän molekyylit absorboivat UV-säteilyn ja lopulta säteily tulee alas eri kulmissa (kuvio 14). Ultraviolettisäteilyä saadaan suoraan auringosta sekä sironnan avulla tasaisesti koko taivaalta. Maahan tulevasta UV-säteilyn sironnasta yli puolet on taivaalta tulevaa sirontaa ja loput auringosta suoraan tulevaa. Stratosfäärissä tapahtuvat kaikki sääilmiöt ja kuten myös pilvet. (Ylianttila ym. 2009, s. 204-205)



KUVIO 14. Ultraviolettisäteilyn kulku ilmakehässä (Ylianttila ym. 2009, s. 204)

Auringon UV-säteily vaimenee aina matkatessaan ilmakehän halki maan pinnalle saakka, matkan kasvaessa myös vaimennus suurenee. Ultraviolettisäteilyn vaimentavia tekijöitä ovat otsonikerros, pilvet sekä auringon sijainti. Ohuella pilvikerroksella ei juuri ole vaikutusta vaimennukseen, mutta sadepilvet voivat vaimentaa jopa 70 % UV-säteilystä. Maapallon kiertäessä aurinkoa muuttuu niiden etäisyys vuodenajan mukaisesti. Tammikuun alusta niiden etäisyys on lyhyimmillään ja suurimmillaan heinäkuun lopussa. Tammikuun aikana tulee jopa 6,9 % enemmän UV-säteilyä, kuin heinäkuun aikana. (Ylianttila ym. 2009, s. 206)

Auringosta tulevan ultraviolettisäteilyn suuruuden esittämiseen käytetään UV-indeksiä (UVI). UV-indeksiä käytetään ympäri maapalloa. Teho ilmoitetaan kokonaisluvulla, jossa ei ole ylärajaa. UV-indeksi määritellään 290, 350, ja 400 aallonpituuksien voimakkuuden mukaan sekä auringon korkeuden mukaan horisontissa. Indeksien suuruuteen vaikuttavat lumi, paikan korkeus merenpinnasta, pilvisyys ja yläilmakerän otsonin määrä. Esimerkiksi lumi voi heijastaa valoa 40-90 % ja pilvisyys vähentää noin 10-70 %. (Hyvä, paha aurinko 2006, s. 33-34; Ylianttila ym. 2009, s. 214; Ilmatieteen laitos n.d.)

UV-indeksi ilmoitetaan tavallisesti nolasta yhteentoista saakka, jossa arvolla 0 säteilyä ei ole lainkaan, arvon 3 ylittyä suositellaan suojautua auringolta, arvolla 6 tai sen yli säteily on voimakasta. Arvolla 8 tai enemmän säteily on hyvin voimakasta ja yli 11 äärimmäisen voimakasta säteilyä. Suomessa toukokuusta elokuuhun saakka kello 10-17 aikoihin UV-indeksien suuruus on 3, jolloin aurinko saa vapaasti paistaa kirkkaalta taivaalta. (Ilmatieteen laitos n.d.)

### **3.1.2 Erikoislamput**

Erikoislamput ovat korkeapaineisia kaasupurkauslamppuja, joissa suurempi tehoista UV-säteilyä saadaan aikaan korkean painehöyryn avulla. Tällaisia lamppeja ovat mm. elohopea-, ksenon-, monimetalli- ja sekavalolamput. Elohopealamppuja ei nykyisen enää valmisteta. (Ylianttila ym. 2009, s.227)

Monimetallilampun toimintaperiaate perustuu korkeassa paineessa syntyvään kaasupurkaukseen (kuvio 15 ja kuva 2). Lasikupuna käytetään kvartsilasia, jolla on hyvä valon läpäisykyky 185...400 nm alueella. Purkausputken lämpötila voi olla korkeimmillaan jopa 950 astetta. Täytekaasuna käytetään elohopeaa sekä halogeeniyhdisteitä ja pieniä määriä jalokaasuja. Lamppuja on olemassa moneen eri tiloihin, kuten ulkoalueille, rakennusten julkisivuille, teollisuushalleille, urheiluhalleille, myymälöille, toimistoille sekä teatterivalaistukseen. Monimetallilamppeja käytetään valaistustarkoituksiin sekä UV-säteilyn tuottamiseen. (Halonen ym. 1992, s. 258)





KUVIO 15. Monimetallilamppu (Ylianttila ym. 2009, s.229)



KUVA 2: Monimetallilamppu (Ledvance 2020)

Monimetallilamppuja valaistuksessa saadaan värilämpötiloilla 3000...6000 K vä-  
lillä ja värintoistoindeksi on 65...90 luokkaa. Lampuille on ominaista, ettei kaikki  
täyteaine höyrysty purkauksen aikana, koska nämä ei höyrystyneet aineet sijait-  
sevat alhaisen lämpötilan alueella. Tämän ominaisuuden vuoksi valmistaja mää-  
rää lampuille polttoasennon ja alueen, jotta valotekniset ominaisuudet ovat mah-  
dollisimman hyvät. Tämä kuitenkin vaikeuttaa valaisimen siirrettävyyden mahdol-  
lisuutta. (Halonen ym. 1992, s. 257)

Ultraviolettisäteilyä tuottavien monimetallilamppujen toiminta on sama, kuin nä-  
kyvän valon tuottavien, jossa korkeassa lämpötilassa tapahtuu sähköpurkaus,  
jossa höyrystyneet jodidit hajoavat ja viritystilassa olevat monimetallit lähettävät  
lopulta säteilyä. Näitä lampuja käytetään suodattimilla varustettuina sola-  
riumlaitteiden kasvojen ruskettamisessa. Suodattimet poistavat UV-C-säteilyn  
kokonaan ja vähentävät UV-B-säteilyn sopivan suuruiseksi. (Ylianttila ym. 2009,  
s.228)



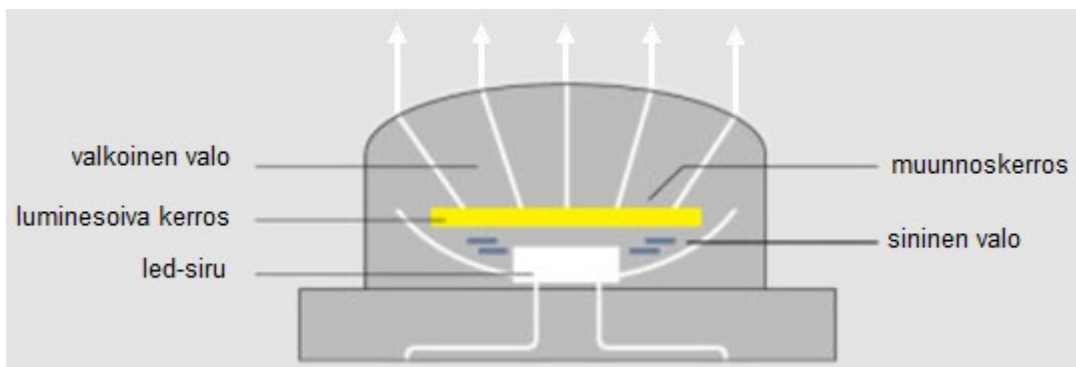
KUVIO 16. Sekavalolamppu (Ylianttila ym. 2009, s.229)

Sekavalolamppu pitää sisällään elohopeaa ja polttimon sisällä on hehkulankakierukka, joka tuottaa osan valosta (kuvio 16). Nämä kaksi ovat suljettu kuvun sisään ja kupu on päällystetty loisteaineella sisältä päin. Lampusta tuleva säteily tulee näkyvänä valona ja UV-säteilynä. Sekavalolamppua käytetään kattosolariumeissa isoissa tiloissa ja niissä UV-B-säteily suodatettu sopivan suuruiseksi. (Ylianttila ym. 2009, s.228)

### 3.1.3 LED

Ledien käyttö on lisääntynyt jyrkästi vuosien ajan juuri niiden hyvien käyttöominaisuuksien vuoksi. Ledien hyviin ominaisuuksiin kuuluu mm. pitkäikäisyys, kompakti koko, monet käyttömahdollisuudet sekä energiatehokkuus. Lediä kutsutaan valodiodiksi sekä myös loistediodiksi, mutta tutuin nimitys on meille ledi (LED). Ledi on puolijohdekomponentti, joka koostuu P- ja N puolijohteista, sekä näiden välissä olevasta rajapinnasta (kuvio 17). Puolijohteiden (puolijohdesirun) päissä sijaitsevat sähkövirtaa kuljettavat ”jalat”, joita kutsutaan anodiksi ja katodiksi. Sähkövirran kulkiessa puolijohdesirun läpi ledi lähettää näkyvää tai näkymätöntä säteilyä. Ledin lähettämän säteilyn aallonpituus määräytyy ledissä olevien puolijohteiden materiaalin ja muovikuoressa olevien pinnoitteiden mukaan. Ledillä siis pystytään lähettämään haluttuja optisen säteilyn aallonpituuksia. Näkyvän valon ledien spektri yleensä sijoittuu 450-650 nanometrin (nm) aallonpituuksille. Ledi voi tällöin lähettää eri värejä tai valkoista valoa käyttämällä fosfaatti- tai arseeniyhdistelmiä. Infrapunaledien spektrin aallonpituudet ovat taas 800-1500 nm alueella. Ultraviolettedien käyttöspektrissä on taas paljon vaihtelua, joka määräytyy edellisten tapaan käyttötarkoitusten mukaan, joten tarkkaa aluetta on hankala määritellä. Kuvassa 3 näkyy ledinauha, joka koostuu useasta pienestä ledistä. (Karhe 2012, s.18-19)

KUVIO 17. Ledin rakenne (Ledvance 2020, muokattu)



KUVA 3. Led nauha (Ledvance 2020)

### 3.1.4 Loistelamput

Näkyvän valon loistelamput jaetaan kahteen ryhmään, joita ovat kaksi- ja yksikantaloistelamput. Kaksikantaisetloistelamput ovat rakenteeltaan suoran putken- tai U-kirjaimen muotoisia, joiden molemmissa päissä ovat liitännät (kuvio 18 ja kuva 4). Yksikantaisetloistelamput ovat taas rakenteeltaan pisto- ja kierrekantaisia lamppuja. (Halonen ym. 1992, s. 204)

KUVIO 18. Loisteputki (Ylianttila ym. 2009, s. 229)



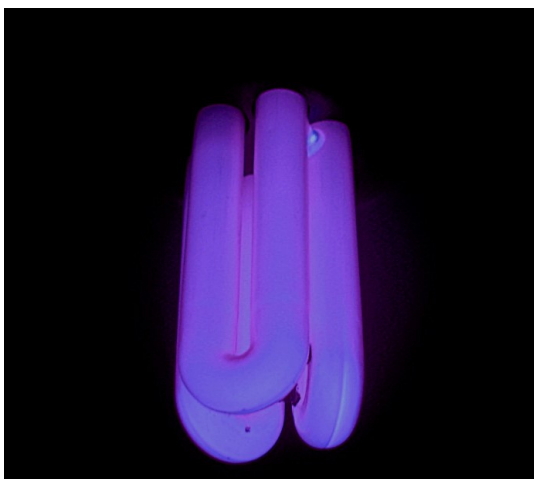
KUVA 4. Loisteputki (Ledvance 2020)

Kaksikantaisenloisteputken kupuna toimii lasinen putki, jonka sisällä täytekaasuna on jalokaasuja, nämä ovat yleensä argonia tai kryptonaa sekä pisara elohopeahöyryä. Lampun pinta on päällystetty sisäpuolelta loisteaineella. Loisteputken molemmissa päissä on suojarahkat, joissa on volframilankaelektrodi eli katodi. Sähkövirran kulkiessa katodeihin, keräävät nämä höyrystyneitä aineita ja näin suojaavat lampun päitä tummumiselta. Sähkövirran höyrystyessä elohopean, alkaa se säteilemään suurimmaksi osakseen UV-säteilyä ja vain pienen osan näkyvää valoa. Ultraviolettisäteily kulkeutuu loisteaineeseen ja tämän ansiosta muuttuu se näkyväksi valoksi. (Halonen ym. 1992, s. 204-205; Ylianttila ym. 2009, s. 226)

Jalokaasujen tarkoituksena on helpottaa lampun syttymistä, mutta se myös heikentää energiatehokkuutta. Tämän takia käytetään kryptonpohjaisia aineita, joilla pienennetään energiahäviöitä ja saadaan parannettua valotehokkuutta. Kaksikantalamppuja on olemassa monia, kuten mm. vakio-, heijastin-, korkean ympäristönlämpötilan-, matalan ympäristönlämpötilan-, U:n muotoiset-, kasvi- sekä värikköisiä lamppuja. (Halonen ym. 1992, s. 205, 213-217)

Ultraviolettiloistelamppujen rakenne on samalainen, kuin näkyvän valon loisteputkien ja UV-loistelamppuja käytetään valaisimissa, solariumeissa, valonhoitolaitteissa ja desinfioinnissa. Lamppujen tuottamaa valoa ja UV-säteilyä voidaan tehdä eri loisteaineilla. Lampun lasimateriaalilla voidaan myös rajoittaa tai päästää säteilyä. Lampun ollessa pelkästään lasia, se ei päästä lävitseen UV-C-säteilyä, vaan lasi absorboi sen. Lasin ollessa kvartsilasia UV-säteily läpäisee sitä paremmin. Tällöin myös UV-C-säteily läpäisee lasin ja pystyy tuhoamaan bakteereita. Tätä menetelmää käytetään desinfioinnissa. Lamppua ei myöskään päällystetä loisteaineella, koska säteily absorboituisi tällöin lasiin. (Ylianttila ym. 2009, s. 226)

Heijastinloistelamppujen rakenne on samankaltainen kuin loistelampun (kuva 4). Näitä kutsutaan myös reflektoriputkiksi. Lamppujen lasin sisäpinta on päällystetty loisteaineella, lasin ja loisteaineen välissä on heijastava kerros, joka peittää hie-man yli puolet putkesta vaakatasossa. Tällä saadaan suunnattua suurimmaksi osakseen säteily ulos lampusta ainoastaan lasin kohdasta, jossa ei ole heijastavaa kerrosta. Heijastinloistelamppuja käytetään mm. solarium- ja valonhoitolaitteissa. Lamppuja käytetään enemmän solariumlaitteissa juuri heijastumisen ansiosta, koska säteily saadaan paremmin heijastumaan haluttuun kohtaan ja laitteessa ei tarvita tällöin omia heijastinpintoja. (Ylianttila ym. 2009, s. 227)



KUVA 5. Mustavalolamppu (Wikipedia 2006)

Mustavalolamppu kuuluu loistelamppujen alaryhmään (kuva 5). Mustavalolamppu koostuu erittäin tummasta violetista lasista, joka läpäisee hyvin UV-valoa, muttei paljokaan näkyvää valoa. Lampun tuottama UV-A-säteilyn osuessa fluoresoiiviin pintoihin, pinnat alkavat virittäytyä. Tämän jälkeen virittäytyneet pinnat purkautuvat ja fluoresoitunut pinta alkaa loistamaan pimeässä. Samaa ilmiötä ei nähdä tavallisissa UV-lampuissa, koska ne tuottavat paljon näkyvää valoa UV-säteilyn lisäksi. Mustalamppuja käytetäänkin mm. diskojen tehovaloissa ja setelintunnistulaitteissa. (Ylianttila ym. 2009, s. 226)

### 3.1.5 Natriumlamput

Pienpainennatriumlampun täytekaasuna käytetään pienipaineista natriumia. Lampussa tapahtuvan kaasupurkauksen aikana purkauksen lämpötila voi olla jopa 260 astetta. Lampun ulkokupu on päällystetty sisältäpäin heijastavalla kalvolla, joka lisää energiatehokkuutta. Pienatriumlampun tuottama keltainen valo on lähellä silmän spektriherkkyyssä, jolloin ihminen pystyy näkemään selkeästi sen valaistuksessa. Lamppu kuitenkin lähettää ainoastaan keltaisen aallonpituutta ja siksi sitä käytetään vain tienvalaistuksessa, jossa ei tarvita hyvää värien erotuskykyä (värintoistoa). (Halonen ym. 1992, s. 270-271)



KUVA 6. Suurpainenatriumlamppu (Ledvance 2020)

Suurpainenatriumlamppujen valoa tuotetaan korkeapaineisessa ja suuressa lämpötilassa olevan kaasupurkauksen avulla, valo syntyy polttimon sisällä olevan täytekaasujen välissä olevin elektrodien ansiosta sähkövirran kulkiessa (kuva 6). Sähkövirran avulla saadaan metallihalogeenit sekä elohopea höyrystymään ja viritystilaan, jolloin ne säteilevät valoa. Lampun käyttökohteita ovat sisä- ja ulkovalaistus, tie- sekä katuvalaistuskohdet. (Halonen ym. 1992, s. 257)

## 4 OPTISEN SÄTEILYN KÄYTTÖSOVELLUKSIA

Seuraavissa kappaleissa käydään lävitse mihin optista säteilyä käytetään talotekniikan ja terveydenhuollon käyttösovelluksissa. Kappaleissa käsitellään lävitse eri optisen säteilyn käyttötavoista nykymaailmassa sekä käytetyistä valonlähteistä ja mitä aallonpituuksia niissä hyödynnetään. Lopuksi talotekniikan ja terveydenhuollon yhteenvedoissa on koottuna omat taulukkonsa, joista voidaan nähdä käyttökohteet, valonlähteet ja niiden lähettämät optisen aallonpituudet.

### 4.1 Käyttö talotekniikassa

Seuraavaksi tarkastellaan mihin tarkoituksiin optista säteilyä käytetään talotekniikassa. Vaihtoehtoja on lukuisia ja tähän on koottu vain pieni murto-osa kaikista vaihtoehdoista. Ensin on kuitenkin hyvä käydä mitä itse talotekniikka tarkoittaa ja pitää sisällään. Talotekniikka koostuu monista kiinteistön teknisistä palveluista ja järjestelmistä sekä laitteista, joihin kuuluu mm. turvallisuus-, huoltopalvelut, kulunvalvonta-, palotorjuntajärjestelmät, ilmanvaihto, lämmitys, vesija viemäriverkostot, sähkö sekä valot. Näillä mahdollistetaan toimivat olosuhteet rakennuksiin, joissa käyttäjien on hyvä olla. Alaluvuissa käsitellään kiinteistöjen kuntotarkastuksia lämpökameralla, veden ja ilman puhdistus tekniikoista ultraviolettisäteilyllä ja näkyvällä valolla sekä tilojen lämmityksestä infrapunalla.

#### 4.1.1 Kuntotarkastukset lämpökameralla

Lämpökuvausta käytetään nykyään paljon esimerkiksi teollisuuden ja kiinteistöjen kunnossapidossa (kuva 7). Lämpökameran avulla pystytään tarkastamaan esimerkiksi kiinteistön rakenteiden- ja laiteiden kuntoa, paikantamaan lämpövuotoja, kosteusvaurioita, ilmavuotoja, putkistojen tukkeutumia sekä säiliöiden pinnankorkeuksia. Lämpökameran käyttö nopeuttaa ja helpottaa kunnossapidon tarkistuksia merkittävästi, koska lämpökameralla voidaan paikantaa myös vikoja, joita ei heti ihmissilmällä voi nähdä, taikka kohteeseen on vaikea päästä.



Lämpökameran lämpökuva näyttää kohteen eri lämpötilat, joiden avulla voidaan päätellä piilevät viat ja kohteen kunto (kuva 8 ja 9). (Infradex 2020)



KUVA 7. Lämpökamera (Laitila 2018)



KUVA 8. Keskus (Laitila 2018)



KUVA 9. Keskuksen lämpökuva (Laitila 2018)

Lämpökameran eli infrapunakameran mittaustapa perustuu kappaleen pintalämpötilan mittaamiseen, jossa mitataan kappaleen lähettämää lämpösäteilyä. Kappaleen lämpösäteilyn suuruus riippuu kappaleen pintalämpötilasta sekä

emissiokertoimesta. Materiaalin emissiivisyys kertoo, kuinka suuren osuuden kappale säteilee energiaa verrattuna kappaleen kokonaisenergiaan. Emissiivisyys voidaan ilmoittaa eri aallonpituuksilla. Jokaisella kappaleella on oma emissiivisyys, joka ilmaistaan desimaalilukuna nollan ja ykkösen välillä. Mitä suurempi on kohteen emissiivisyys, niin sitä vähemmän se heijastaa ympäristön säteilevää lämpöä ja sitä enemmän omaa lämpösäteilyään. Lämpökameran ilmaisimien muuttua mitatun infrapunasäteilyn kameran ruudulle lämpökuvaksi, josta nähdään mitatun kohteen lämpötilojen suuruudet (kuva 9). (Chauvin-Arnoux n.d.)

Lämpökameralla mitataan kokonaislämpösäteilyä, joka koostuu muiden lähteiden heijastuvasta lämpösäteilystä, sekä pinnan läpi tulleesta säteilystä ja kappaleen itsensä lähettämästä lämpösäteilystä. Jotta tarkkoihin lämpötilamittauksiin päästäisiin, käyttäjän on mahdollista säätää kuvauskohteen, sekä ympäröivän taustan emissiivisyydet täsmälleen oikeanlaisiksi. Alhaalla olevasta taulukosta 6 nähdään eri materiaalien emissiivisyydet. Tarkimmat tulokset saadaan emissiivisyyden ollessa lähellä yhtä, jolloin saadaan mitattua tarkasti todelliset pintalämpötilat. Hankalimmat mittauskohteet ovat kiiltävät pinnat, joissa emissiivisyys on alle 0,5. Tähän on syynä suuri heijastuminen kiiltävissä pinnoissa, joka vaikeuttaa todellisten pintalämpötilojen mittaamista suuresti. (Suomalainen 2011, s.11-12)

Taulukko 6. Materiaalien emissiokertoimia (Infradex 2003, mukailten)

<i>Emissiivisyystaulukko</i>		
<i>Materiaali</i>	<i>Lämpötila ( °C)</i>	<i>Emissiivisyys</i>
Alumiini, hapettunut voimakkaasti	50-500	0,2-0,3
Alumiini, karkeapinta	20-50	0,06-0,07
Alumiini, kiillotettu	50-100	0,04-0,06
Betoni	20	0,92
Emali	20	0,9
Galvanoitu rauta, ohkolevy, hapettunut	20	0,28
Kuitulevy, kova, käsittelemätön	20	0,85
Kuitulevy, kovalevy	70	0,75
Kumi	20	0,95
Kupari, hapettunut, voimakkaasti	20	0,78
Kupari, kiillotettu, mekaanisesti	22	0,015
Laasti, kuiva	36	0,94
Lakka, tasainen	20	0,93

Lämpökameroita on olemassa kahta päätyyppiä, jotka ovat mittaavia ja ei-mittaavia. Mittaavilla kameralla saadaan mitattua lämpötiloja halutuista kohteista ja niitä käytetään mm. kiinteistöjen kuntotarkastuksiin, teollisuudessa ennakoivaan kunnossapitoon ja lämpötutkimuksiin. Ei-mittaavia kameroita käytetään ensisijaisesti etsintään ja valvontaan, joissa lämpötila-arvoilla ei ole merkitystä. Kamerrat toimivat infrapunalla lyhyellä-, (IR-A) sekä pitkänkaistan (IR-C) alueella, jonka lämpötila-alue on -40...1500 astetta. Yleensä käytetään pitkänkaistan aluetta, joka toimii n. 8-12  $\mu\text{m}$  aallonpituudella. Kameran tärkeimpiä ominaisuuksia on lämpöerotuskyky (herkkyys), joka kertoo vierekkäin olevien pisteiden lämpötila-eron. Tarkkuus parhaillaan voi olla n. 0,02 °. Lämpökuvan tarkkuus (kameran paikanerotuskyky) kertoo lämpökuvan pisteiden lukumäärän, tarkkuus on yleensä  $\pm 2$  °C. (Infradex 2020)

Sähkölaitteiden lämpökuvauksessa keskitytään ennakoivaan kunnossapitoon, joka on tärkeää teollisuudessa ja muissa kohteissa, jossa sähkön kulutus on suurta. Sähkölaitteiston vaihtelevat kuormitukset, sekä käyttölämpötilat saavat aikaan lämpölaajentumista ja kutistumista, jonka seurauksena tapahtuu liitoksissa löystymistä. Löyhät liitokset saavat aikaan vastuksen (resistanssin) kasvun sähköliitoksissa, joka nostaa lämpötiloja ja lopulta näissä ilmenee vikoja. Nopean lämpövertailunsa ansiosta lämpökameralla voidaan löytää nopeasti viat. Tarkastukset tehdään pääosin lämpövertailulla, mutta tämä edellyttää myös kuormitusvirtojen mittaamista ja nykyisin kuormitusmittaukset saadaan lämpökuvasten mukana raporttiin. Sähkölaitteiden kuvaukseen löytyy esimerkiksi FLIRin tuotteista siihen suoraan tarkoitettuja malleja. Sähkölaitteiden kuvauksella voidaan mm. havaita; löyhät liitokset, hapettumat, ylikuormat, vinkoukset, kompensoinninlaitteiston väärät toiminnat sekä viallisen laitteet. (Infradex 2020)

Lämpökuvauksessa tehtäessä sähkökaappeihin, kaappien kannet ovat avattava ja kosketussuojat poistettava, jotta mitattavat kohteet saadaan kuvattua. Keskustellessa mitatessa on hyvä muistaa, että kiiltäväpintainen metalli ei säteile paljokaan lämpösäteilyä. Tällöin ei saada luotettavaa mittaustulosta tehtyä. Lämpökuvauksen lisäksi mittajan hyvä tarkastaa johtimissa kulkevan virran suuruus, jolloin selvää, onko kuormitusta sähkölaitteissa. Lämpökuvasta ei suositella, jos lait-

teiston kuormitus on alle 40 %, koska tällöin lämpötilaerot ovat hankalempi paikallistaa. Mittaus tulisi tehdä vasta kuormituksen ollessa päällä 30 minuutin ajan kuluttu ja sähkökaappeja ei tulisi tuulettaa turhaan. (Infradex 2020)

Lämpökameraa käytetään myös talotekniikassa LVIK-tekniikan (lämpö-, vesi, ilmanvaihto- ja kylmälaitteet) tarkastamiseen. Infrapunakameran avulla voidaan todeta helposti mm; lämmönjakelun epätasaisuudet, lämpöpatterien ilmaustarpeet, kylmälaitteiden toiminta, lattialämmityskaapeleiden sijainnit, lämpövuodot, ilmapuodot, kosteusvauriot ja eristeiden puutteet. Mittausten avulla saadaan kohteista yleiskuva, jossa mittaustietoja vertaillaan samanlaisiin kohteisiin normaaleissa lämpötiloissa, jotta lämpötilaerot voitaisiin huomata. (Infradex 2020)

#### 4.1.2 Veden desinfiointi UV-valaisimilla

Talousveden puhdistamisesta ja sen menetelmistä vastaa kunnissa vedenpuhdistuslaitokset, joissa desinfioitu vesi tulee kuluttajalle kiinteistön liittymäkohtaan saakka. Tästä eteenpäin kiinteistön omistaja vastaa itse veden laadusta. Oman vedenjakelujärjestelmänsä omistavat taas vastaavat itse talousveden puhtaudesta ja desinfiointi menetelmästä. Talousveden desinfiointiin on olemassa monia tapoja, yleisimpiä tapoja ovat; hypokloriitit, klooraus, kalvosuodatus, otsonointi ja UV-desinfiointi. Veden desinfiointissa on tarkoitus poistaa taudinaiheuttajat, joita ovat bakteerit, virukset ja alkueläimet. Ihmisen käyttöön tarkoitettulla vedellä on kuitenkin monia vaatimuksia ja desinfiointi tavoissa on myös omat ominaisuutensa. Tässä kappaleessa käydään läpi tarkemmin ultraviolettivalolla käytettyä veden desinfiointijärjestelmää, jonka käyttö on lisääntynyt ympäri maailmaa. (Tikkanen 2016, s.11)



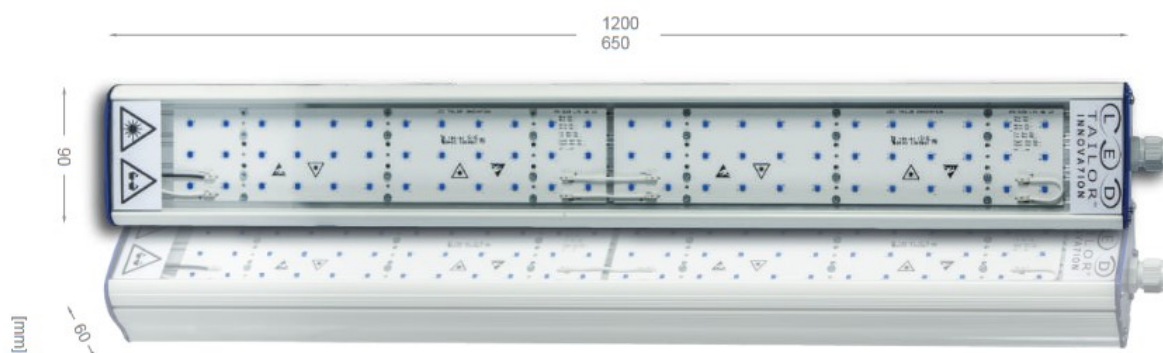
KUVA 10. UV-laite (Aqua Nova n.d)

Ultravioletidesinfiointissa käytetään ultraviolettivaloa, jossa UV-lamput lähettävät säteilyä veteen (kuva 10). Tehokkain veden puhdistukseen on UVC-säteilyn 260-265 nanometrin aallonpituudet. Veden puhdistukseen käytetään standardien UV-annossuosituksia, jonka mukaan UV-annostuksen ollessa  $400 \text{ J/m}^2$  (energian suuruus jouluea neliometriä kohden) on riittävä. Ultraviolettivalo aiheuttaa muutoksia vedessä olevien epäpuhtauksien DNA-molekyyleihin ja estää näiden jakaantumisen. Tällöin molekyylit eivät voi enää lisääntyä ja vesi on turvallista käyttää. Ultraviolettivalo vaikuttaa sen hetkiseen viruksiin, bakteereihin sekä alkueläimiin. Ultraviolettivalon tuottamiseen käytetään matala- ja keskipainelamppuja, jotka toimivat omilla aallonpituus aalloillaan. Veden desinfiointitehoon ja sen laitteiston mitoittamiseen vaikuttavat UV-annos, läpäisevyys ja veden laatu. Ultravioletti-laitteiston tärkeimpänä määrittäjä veden huonoin läpäiseväisyyden arvo. Läpäisevyyteen vaikuttaa vedessä olevien orgaanisten aineiden määrä, joita ovat mangaani- ja rautapitoisuudet sekä veteen kulkeutuneet kemiakaalit. Vesijohtolaitoksen puolella desinfiointi ei vaikuta verkostoon saakka, jolloin tarvitaan myös varadesinfiointi varmistamaan veden laatu. Ultraviolettisäteilyn ominaisuuksiin kuuluu, ettei se muodosta veteen mitään sivutuotteita, eikä myöskään vaikuta veden makuun tai hajuun. (Tikkanen 2016, s.12-13)

Veden desinfiointiin voidaan käyttää suljettua UV-laitteistoa ja jäteveden käsittelyssä taas avokanavaan asetettua lamppukehikkoja. Laitteisto koostuu ruostumattomasta teräksestä valmistetusta reaktorista, jossa UV-lamput sijaitsevat kvartsilasisien suoja-putkien sisällä. Vesi ohjataan virtaamaan reaktorin läpi, jossa desinfiointi UV-lamput ovat joko asennettu virtaaman mukaisesti, kohtisuoraan, tai 45 asteen kulmaan virtaukseen nähden. Yleisimmät lampputyypit ovat U-, -L, Z-muotoiset lamput, joiden käyttö määräytyy mistä haaroista vesi halutaan ohjata läpi. Valaisemina käytetään matalapaineisia (matalapurkauslamppuja) UV-C-elohopealoistelamppuja, joka säteilee suurimman osan energiasta 254 nm aallonpituudella. Toisena lamppuna käytetään keskipainelamppua, joka säteilee 185-600 nm aallonpituuksien välillä, mutta vain 40-50 % energiasta kuluu desinfiointiin ja loput menevät täysin hukkaan. Suurin osa keskipainelampun käytetystä säteilyenergiasta esiintyy 365 nm alueella. (Tikkanen 2016, s.13-14)

### 4.1.3 Ilman ja pintojen puhdistus fotonivalaisimilla

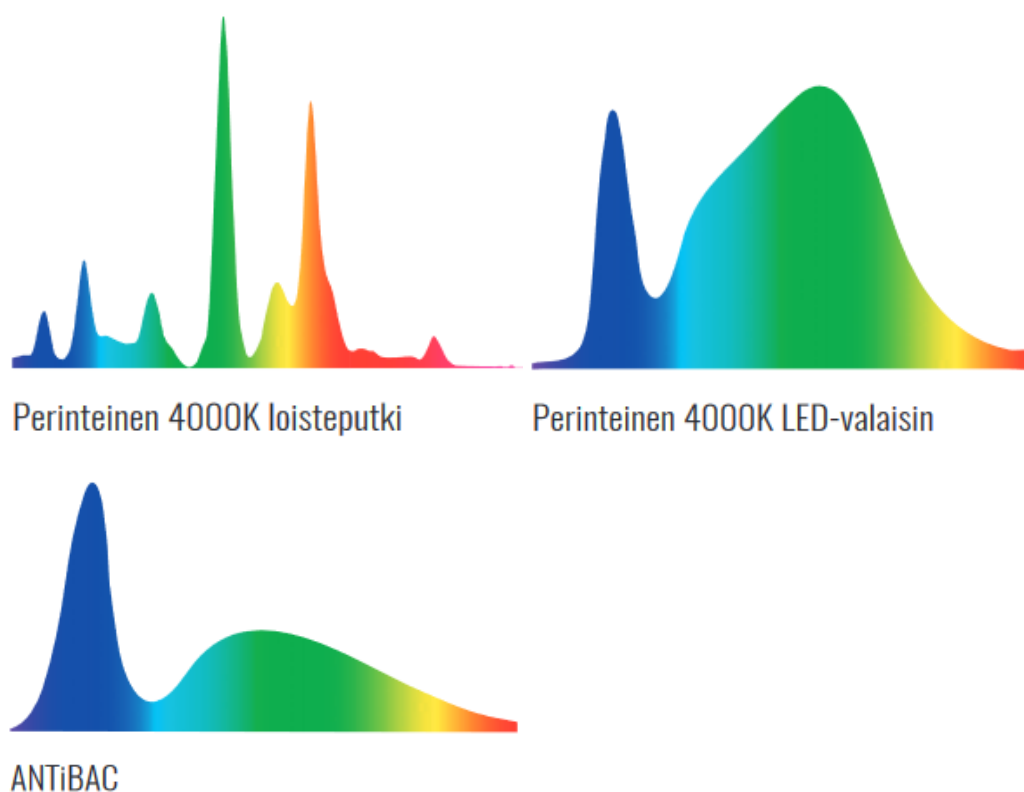
Sisäilman ja tilojen pintojen puhdistamiseen ovat tulleet markkinoille sinistä valoa lähettävät valaisimet. Sinisen valon avulla pystytään tuhomaan bakteereja, homeita, hiivoja ja tehostamalla valoa pystytään tuhomaan myös viruksia sekä itiömuotoja. Näitä valaisimia kutsutaan fotonidesinfiointivalaisimiksi (kuva 11). Sinisen valon 400...470 nm aallonpituuksien vaikuttaessa mikrobiin, sen sisällä aktivoituu aineenvaihduntatuotteita, jotka muodostavat reaktiivisia happiradikaaleja. Nämä happiradikaalit tuhoavat mikrobin solujen osia ja bakteerit lukumäärä vähenee. Sinen valo ei myöskään tutkimusten mukaan ole haitallista ihmisille tai materiaaleille. (Led Tailor, Wisdom air 2019)



KUVA 11. Fotonidesinfiointivalaisin (Led Tailor, Wisdom air 2019)

Fotonidesinfiointivalaisimien eri käyttökohteiden lukumäärä kasvaa jatkuvasti ja tällä hetkellä niitä käytetään esimerkiksi kouluissa, päiväkodeissa, hammashoitoloissa, eläinklinikoissa, laboratorioissa sekä ambulansseissa. Valaistuksella voidaan puhdistaa tiloja, joissa halutaan estää taudinaiheuttajien leviäminen. Tilat voivat olla esimerkiksi vessat, kylpytilat, puhdistettavien laitteiden tai välineiden tilat. Puhdistavaa valaistusta voidaan myös käyttää kohteissa, joissa kärsitään huonosta sisäilmasta, kuten koulu- ja päiväkotikohteissa. Puhdistuksen tehoa lisätään näissä kohteissa valokatalyysipinnoitteen avulla, jolla tuhoetaan VOC-yhdisteitä sekä raikastetaan sisäilmaa. Fotonidesinfiointivalaisimet lähettävät valoa (sinistä tai valkoista) rakennuksessa olevaan materiaaliin laitettuun valokatalyysipinnoitteeseen, joka aiheuttaa kemiallisen reaktion ja sen seurauksena syntyy reaktiivisia happiyhdisteitä. Nämä reaktiiviset happiyhdisteet vähentävät entisestään mikrobeja. Fotokatalyysipinnoitetta käytetään myös itsepuhdistuvissa julkisivuissa, ikkunoissa ja ilmanpuhdistimien suodattimissa. VOC-yhdisteet

ovat orgaanisia haihtuvia kaasuja, joiden yhdisteiden epäillään aiheuttavan terveyshaittoja. VOC-yhdisteitä syntyy muun muassa rakennusten- ja sisustusmateriaalien aiheuttamista päästöistä sekä pesuainesta ja mikrobikasvustoista. Materiaalipäästöt ovat suurimmillaan uusissa rakennetuissa taloissa ja näissä päästöt laskevat normaalille tasolle vasta puolen vuoden kuluttua rakentamisesta. Haihtuvien yhdisteiden haittavaikutuksia ovat päänsärky, limakalvojen- ja silmien ärsytysoireet. (Hengityслиitto 2020; Led Tailor, Wisdom air 2019; Teknologiaesite 2019, s. 4-5, 8)



KUVA 12. Valonlähteiden valospektrit (Led Tailor, Teknologiaesite 2019, s. 5)

Fotonidesinfiointivalaisemia on markkinoilla moniin eri käyttötarkoituksiin. Valaisimia voidaan käyttää tilojen yleisvalaistukseen, jossa tilojen vanha valaistus korvataan sinisen valon sisältävillä valaisimilla, tai vanhoihin valaisimiin vaihdettavilla loisteputkilla. Valaisin lähettää päivänvalonmaista valkoista valoa, joka sisältää moninkertaisesti sinisen valon aallonpituuksia. Tämä yleisvalaistus rajoittaa mikrobien kasvua sekä parantaa vireystilaa. Toisena ratkaisuna on pelkästään sinistä valoa lähettävä desinfiointivalaisin, joka on käytössä yöaikaan tai silloin

kun tila ei ole käytössä. Valaistuksen ohjaus voidaan toteuttaa normaaleilla kytkimillä, jolloin käyttäjä itse saa päättää käytön ajan. Ohjaus voidaan tehdä myös automaattiseksi kellokytkimen avulla, tällöin sininen valaistus tulee käyttöön haluttuna kellon aikana, taikka läsnäolotunnistimen avulla, joka sytyttää valot, kun tilaa ei käytetä. Kuvassa 12 on esitetty tavallisen loisteputken-, led-valaisimen- ja fotonidesinfiointivalaisimen valospektri, josta nähdään desinfiointivalaisimen sininen valon spektri on muita selkeästi leveämpi ja näin ollen se pitää sisällään monikertaisesti sinisen aallon pituuksia. (Led Tailor, Teknologiaesite 2019, s.4-6, 8)

#### 4.1.4 Infrapunalämmitys

Infrapunalämmitys syntyy säteily- ja vastuskuumennuksen avulla. Infrapunalämmittin lähettää infrapunasäteilyä, joka lämmittää henkilöitä ja esineitä säteilyn osuessa niihin (kuva 13). Lämpösäteilyn kohdistuneet kohteet varastoivat lämpöä ja lähettävät lämpösäteilyn takaisin sekundäärisenä säteilynä. Eli säteily heijastuu moneen eri suuntaan. Tämän vuoksi infrapunalämmittimien sijainnilla on suuri merkitys, infrapunalämmittimet tulee kohdistaa oikein, jotta lämpösäteily saadaan haluttuihin paikkoihin. Lämmittimiä käytetään kosteuden poistoon ja rakennusten lämmittämiseen. (Peräniitty 1995, s. 109; Trotec 2019)



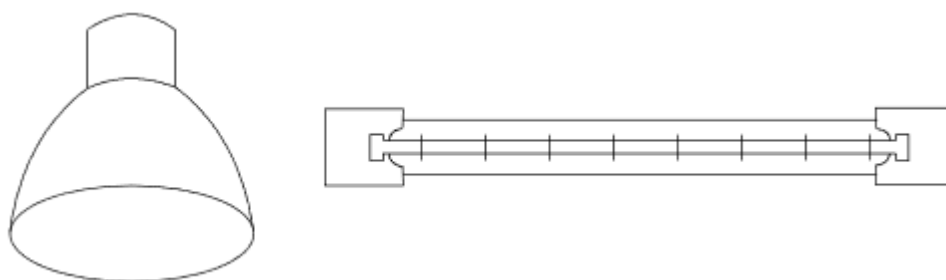
KUVA 13. Infrapunalämmitin (Netrauta n.d.)

Infrapunalämmittimillä on oma valmistusmateriaalinsa ja oma energian lähteenensä. Lämmittimet voivat toimia sähköllä tai kaasulla, kaasuna käytetään maakaasua tai propaania. Sähköllä toimivat infrapunalämmittimet ovat parempia hyö-



tysuhteeltaan, kuin kaasulla toimivat. Sähköllä toimivat infrapunälämmittimet lähettävät suurimmaksi osakseen pelkkää lämpösäteilyä haluttuun kohteeseen, kaasulla toimivat taas lähettävät lämpösäteilyä ja samalla syntyy hukkalämpöä ilmaan, joka ei kuitenkaan lämmitä yhtä tehokkaasti kuin kohdistettu lämpösäteily. Kaasulla toimivien infrapunälämmittimien käyttökustannukset ovat myös korkeammat sähköllä toimiviin infrapunälämmittimiin verrattuna. (Turun sanomat, Lehtinen 2017)

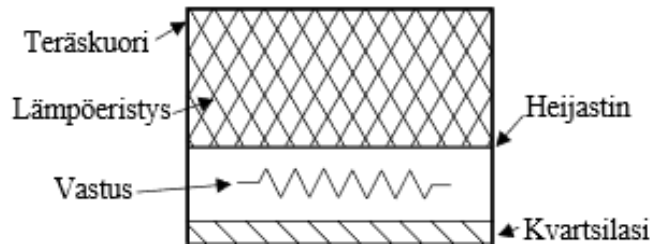
Infrapuna-alue koostuu lyhyistä (IR-A), keskipitkistä (IR-B) ja pitkistä säteistä (IR-C). Jokaisella aallonpituuden säteellä on omat ominaisuutensa ja niiden kautta käyttötarkoituksensa. Lyhytaaltosäteilijöitä on kahta eri tyyppiä, nämä ovat lampusäteilijöitä tai kvartsiputkisäteilijöitä (kuvio 19). Lamppusäteilijät muistuttavat nimensä mukaisesti juuri hehkulamppua, kvartsiputkisäteilijät ovat muodoltaan pitkiä putkia. Säteilijät pitävät sisällään inerttikaasussa olevaa volframilankaa, joka lämpenee 2000-2500 °C:een ja lähettävät 1-1,5 µm aallonpituuksia. Lamppujen tehot ovat yleensä 150, 250 ja 375 Wattia. Putkien teho kasvattaa myös putkien pituutta ja niiden teho on 0,5-7 kW välillä. Lyhytaaltoiselle infrapunalle (IR-A) on ominaista pieni lämpöhitaus, hyvä säädettävyys, nopea jäähtyvyys (sekunnin luokkaa), hyvä tunkeutumiskyky (muutama millimetri) ja suuri tehotiheys. Lyhytaaltainen säteily heijastuu myös paremmin lämpimästä materiaalista. (Mikkola 2016, s. 23)



KUVIO 19. Lyhytaaltoinfrapunasäteilijät (Mikkola 2016, s. 23)

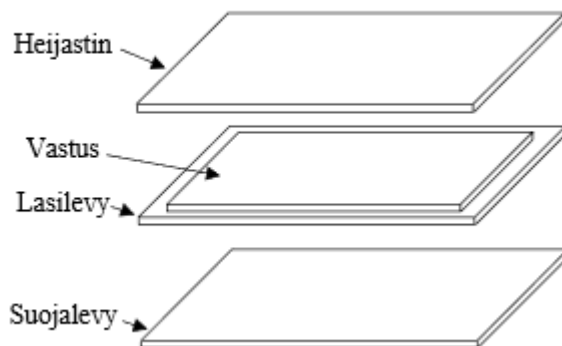
Keskiaaltosäteilijöiden toimintalämpötila on 700-1300 °C astetta ja ne lähettävät 2-4 µm aallonpituuksia. Säteilijöiden tehot ovat 0,25-8 kW suuruisia. Teollisuudessa käytetään yleisesti kolmea erityyppistä säteilijää. Lyhyin keskiaaltoisista toimiva säteilijä on valmistettu kvartsiputkesta, joka on avoin molemmista päistä ja pitää sisällään metallilankavastuksen. Tästä pitempiaaltoisen rakenteeltaan on

metallinen säteilyputki, jota lämmittää magnesiumoksidista valmistettu vastus. Pientä aallonpituutta käytetään kvartsisäteilijässä, jossa lämpö kohdistetaan kvartsiin levyyn sen takana olevilla vastuksilla (kuvio 20). Keskiaaltoisella säteilyllä (IR-B) on ominaista pieni tai keskimääräinen lämpöhitaus, melko hidaskäyttö, lämmön osittain siirtyminen konvektiolla (30-40 % tapahtuu konvektiolla), melko pieni tunkeutuma sekä vähäinen heijastuminen. Säteilijän jäähtymisaika vaihtelee 30 sekunnista muutama minuuttiin. (Mikkola 2016, s. 23-24)



KUVIO 20. Kvartsiin säteilylaitteen rakenne (Mikkola 2016, s. 24)

Pitkäaaltoisten säteilylaitteiden toimintalämpötila on 300-600 °C ja säteilyn aallonpituudet ovat 3-5 µm. Tehot ovat alle 3 kW ja niissä käytetään yleisesti kahta eriytyä (kuvio 21). Säteilijä on joko rakennettu karkaistusta lasista, jonka sisälevy on päällystetty metallioksidilla ja se toimii lämmittäjänä. Toisessa ratkaisussa lämmön tuottaja peitetään keraamiin ja se on vielä päällystetty erikoislasituksella. Pitkäaaltoiselle säteilyllä (IR-C) on ominaista pehmeä lämmön tuotto, hidaskäyttö, hyvä avaruuskulma, sopiva epäsuorien kappaleiden lämmittämiseen sekä pieni tehotiheys ja suuri pinta-ala. (Mikkola 2016, s. 24)



KUVIO 21. Lasilevyn rakenne (Mikkola 2016, s. 24)

Energiätehokkaimmat infrapunalämmittimet ovat lyhytaaltoiset kvartsilämmittimet, joissa lämpösäteily saadaan ohjattua haluttuihin paikkoihin. Näiden lähettämä lämpösäteily tuntuu auringon paisteen omaiselta, eikä tuulella ole vaikutusta lyhytaaltoiseen infrapunaan, sen lisäksi lämpeneminen tapahtuu sekuntien aikana. Suosittuja käyttökohteita ovat terassit, parvekkeet, mökit, sekä teollisuuslaitosten tilat. Keskipitkänaallonpituudet taas lämmittävät ympäröivää ilmaa jonkin verran ja ovat myös herkkiä tuulelle. Kaukoinfrasapunalämmittimillä on ominaista lämmitä hitaasti ja ne eivät aiheuta selvää lämmön tuntua. Lämmittimien valintaan vaikuttavat käytettävä tila ja sen koko sekä halutaanko vain tietty alue lämpimäksi, vai koko alue. Yleensä tilaan riittää yksi lämmitin ja maksimissaan kaksi sähkölämmitintä. Noin 15 neliön tilaan riittää 2000 Watin tehoinen lämmitin. Infrapunalämmittimet eivät kuitenkaan sovellu pakkaskeleille, mutta vielä lämpötilan ollessa 10 astetta tila saadaan nostettua sopivaan lämpötilaan. Infrapunalämmittimet soveltuvat hyvin toiseksi lämmitystavaksi. Lämmittämiä saadaan asennettua kattoon, seinille ja myös liikuteltavina. (Turun sanomat, Lehtinen 2017)

#### 4.1.5 Yhteenveto

Tähän kappaleeseen on koottu edeltävien lukujen tulokset. Kappaleessa kerrotaan tiivistettynä talotekniikan käyttösovelluksien ominaisuuksista. Taulukosta 7 nähdään optisen säteilyn aallonpituusalue, käyttökohde ja valonlähde.

TAULUKKO 7. Optisen säteilyn käyttökohteita talotekniikassa

<b>Talotekniikka</b>			
<b>Säteily</b>	<b>Aallonpituusalue, <math>\lambda</math> (nm)</b>	<b>Käyttökohde</b>	<b>Valonlähde</b>
<b>UV-C</b>	100-280	Veden desinfiointi	Matalapurkauslamppu Keskipainelamppu Led
<b>UV-B</b>	280-315		
<b>UV-A</b>	315-400	Veden desinfiointi	Keskipainelamppu Led
<b>Näkyvä valo</b>	400-430		
	430-490	Ilman ja pintojen desinfiointi	Fotonidesinfiointivalaisin (Led)
	490-560		
	560-590		
	590-630		
	630-780		
<b>IR-A</b>	780-1400	Lämmitys Kuivaus Lämpökuvaus	Lamppusäteilijä Kvartsiputkisäteilijä Lämpökamera
<b>IR-B</b>	1400-3000	Lämmitys Kuivaus	Kvartsiputkisäteilijä Metalliputki Kvartsitiili
<b>IR-C</b>	3000-10 <sup>6</sup>	Lämmitys Kuivaus Lämpökuvaus	Lasilevy Keraami Lämpökamera

Veden puhdistamiseen käytetään ensisijaisesti lyhytaaltoista UV-C-säteilyä, joka on tehokkain mikrobeja vastaan. Veden puhdistuksessa UV-annostuksen tulee olla vähintään 400 J/m<sup>2</sup> (Joulea neliometriä kohden). Lyhytaaltoisen UV-C-säteilyn tuottamiseen käytetään matalapurkauslamppeja sekä ledejä, jossa

matalapurkauslamput lähettävät 254 nanometrin (nm) aallonpituuksia ja ledit 220-280 nm aallonpituuksia. (Tikkanen 2016, s.13-14)

Veden puhdistuksessa pitkäaaltoista UV-A-säteilyä tuotetaan keskipainelampuilla ja ledeillä, jossa keskipainelamput lähettävät kaikkia ultraviolettisäteilyn aallonpituuksia sekä näkyvän valon aallonpituuksia 185-600 nm alueella. Keskipainelamppujen 365 nm aallonpituuksia käytetään desinfiointiin ja mutta sen käyttöenergiasta menee vain 40-50 % hyötykäyttöön. Ledi lähettää taas 360 nm aallonpituuksia, jonka desinfiointi vaikutusta tehostetaan fotokatalyysin avulla. (Tikkanen 2016, s.15-16)

Näkyvän valon alueen sinistä aallonpituutta käytetään ilman ja pintojen puhdistamiseen, jossa valonlähteenä käytetään fotonidesinfiointivalaisimia. Valaisimet lähettävät 400-470 nm aallonpituuksia, joilla tuhoetaan bakteereja, homeita, hiivoja, viruksia, itiömuotoja sekä materiaalipäästöjä. Valaisimia on kahdenlaisia, jossa valaisimet lähettävät ainoastaan desinfiioivaa sinistä valoa. Toisessa ratkaisussa valaisimet lähettävät sinistä valoa suurimman osan ja sekä valkoista päivänvaloa, valaisimia käytetään yleisvalaistukseen, joiden valo rajoittaa mikrobien kasvua ja parantaa henkilöiden vireyttä. (Led Tailor, Teknologiaesite 2019)

Infrapun lyhyttä IR-A-lämpösäteilyä sekä keskipitkää IR-B-säteilyä käytetään lämmityksessä ja kuivaamisessa. Lyhyen IR-A-lämpösäteilyn lähteitä ovat lampusäteilijät sekä kvartsiputkisäteilijät, jotka lämpenevät 2000-2500 °C:een saakka ja ne lähettävät 1-1,5 µm aallonpituuksia sekä hieman IR-B-säteilyä. Lamppusäteilijöiden tehot ovat tavallisesti 150, 250 ja 375 Watin luokkaa ja kvartsiputkien tehot ovat 0,5-7 kW suuruisia. Keski-infrapun IR-B-säteilyn lähteinä käytetään kvartsiputki-, metallisäteilijöitä ja myös kvartsitiiliä, joiden toimintalämpötila on 700-1300 °C astetta. Säteilijät lähettävät 2-4 µm aallonpituuksia ja myös hieman pitkäaaltoista IR-C-säteilyä, keskiaaltosäteilijöiden lämmitysteho on 0,25-8 kW luokkaa. (Mikkola 2016, s. 23)

Pitkäaaltoisen IR-C-lämpösäteilyä käytetään myös lämmittämiseen, kuivaamiseen ja lämpökuvaukseen. Näiden lämmönlähteitä ovat lasilevyt ja keraamit, joi-

den toimintalämpötila on 300-600 °C. Pitkäaalto säteilijät lähettävät 3-5 µm aallonpituuksia. Lämpökamerat toimivat lyhyellä IR-A-säteillä ja pitkänkaistan IR-C-aallonpituuksilla, joiden toiminta alue on -40-1500 °C välillä. Yleisesti lämpökameraa käytetään IR-C-säteilyn 8-12 µm pituuksilla. (Mikkola 2016, s. 24; Infra-dex 2020)

## 4.2 Käyttö terveydenhuollossa

Optista säteilyä käytetään terveydenhuollossa aina desinfioinnista sairauksien parantamiseen. Valonlähteiden kehittyessä on monet hoitomenetelmät parantuneet huomattavasti vuosien saatossa. Kappaleissa käydään läpi eri valohoitoja-hoitoja, joilla vaikutetaan ihon pinnallisiin kerroksiin.

### 4.2.1 Ultravioletivalohoidot

Ultravioletivalohoito on ollut käytössä jo pitkään ihmisen historiassa ja ensimmäisissä hoidoissa käytettiin pelkästään auringon valoa. Valohoito alkoi kehittyä 1900-luvulta alkaen, jolloin aloitettiin käyttämään keinovaloa ihosairauksien hoitamiseen. Auringosta tulevaa UV-A- ja UV-B-säteilyllä on parantavia vaikutuksia, mutta ensimmäisissä hoitolampuissa näiden lisäksi saatiin ihoa polttavaa UV-C-säteilyä, jolloin hoidoista saattoi olla enemmän haittaa, kuin hyötyä. (Laihia ym. 2009, s. 181)

Hoitolamppujen jälkeen keksittiin 1970-luvulla loisteputket, jotka lähettivät UV-A- ja UV-B-säteilyn aallonpituuksia laajaspektrisesti, jolloin hoidon hyötyvaikutukset paranivat. Nämä valaisimet kuitenkin sisälsivät muitakin aallonpituuksia. Samaan aikaan otettiin käyttöön SUP-hoito eli selektiivinen ultraviolettifototerapia. Seuraavaksi tuli kapeakaistaisen spektrin loistevalaisimet vuonna 1984, joissa oli vain muutamia UV-B-säteilyn aallonpituuksia 309-313 nm alueelta. Nykyään käytetäänkin enemmän erikoissairaudenhoitoon kapeaspektristä UV-B-hoitoa, kuin laajakaista UV-B-hoitoa. (Laihia ym. 2009, s. 183)

Valohoito voidaan toteuttaa kahdella tapaa, jossa hoitotoimenpide tehdään valottamalla hoidettavaa aluetta (fototerapia), taikka hoito tehdään lääkkeillä, sekä valolla yhteisesti (fotokemoterapia). Esimerkiksi PUVA-hoidossa käytetään lääke- ja valohoitoa, jolla hoidetaan ihon tulehduksia. Pitkäaalton UV-A säteily (320-400 nm) ei yksin riitä ihonhoitoon, vaan tällöin tarvitaan ihoa herkistävää psoraleenilääkettä ennen valotusta. Psoraleenilääke voidaan myös laittaa kylpyveteen tai käyttää levitteenä iholle, psoraleenilääke voidaan myös ottaa

tablettina. Seuraavissa alaluvuissa käydään lävitse UV-B-, SUP-, ja UV-A1-hoitosten käyttökohteita. (Laihia ym. 2009, s. 183)

Kapeaspektristä UV-B-hoitoa käytetään moniin eri alkaviin ihotautien pinnallisten muotojen hoitamiseen, näitä ovat mm. psoriasis, ihottumat, punajäkälä, ihokurtina, nokkosihottuma sekä iholyymfooma. Hoidossa käytetään UV-B-säteilyn 309-313 nm aallonpituusalueella. Keskiaaltoinen UV-B-hoito voidaan tehdä myös laajemmalla aallonpituusalueella, jossa käytetään 290-320 nm aallonpituuksia. Tämän hoidon vaarana on kuitenkin ihon punoittaminen, joka johtuu tehokkaammasta säteilystä ja siksi sen käyttö on vähentynyt. (Laihia ym. 2009, s. 183-184)

UVB-hoito suoritetaan loisteputkilla ja loisteputkien lukumäärä määrittää hoitoajan pituuden. Mitä enemmän on loisteputkia, sitä pienimmiksi hoitoajat menevät. Hoidon annostus määräytyy ihon herkkyden mukaan, annostus katsotaan Valojaoksen suosittelemasta taulukosta (taulukko 8). Hoidot suoritetaan säännöllisin väliajoin ja aloitetaan ensin pienemmällä annostuksella, kuin mistä ihon punoituskynnys alkaa ja hoidon voimakkuutta nostetaan vähitellen 1-2 kerran välein. (Laihia ym. 2009, s. 184)

TAULUKKO 8. UV.B-hoidon annoskaavio (Laihia ym. 2009, s. 184)

Kerta	Herkkä iho	Normaali iho	Hyvin sietävä iho
1	0.20	0.20	0.20
2	0.22	0.25	0.28
3	0.24	0.30	0.35
4	0.26	0.35	0.45
5	0.28	0.40	0.60
6	0.30	0.50	0.75
7	0.35	0.60	1.00
8	0.40	0.70	1.25
9	0.45	0.85	1.50
10	0.50	1.00	1.50
11	0.55	1.20	1.60
12	0.60	1.40	1.60
13	0.65	1.50	1.60
14	0.70	1.50	1.70
15	0.75	1.50	1.70
16	0.80	1.50	1.70
17	0.85	1.50	1.80
18	0.90	1.60	1.80
19	1.00	1.60	1.80
20	1.00	1.60	1.90

Annokset ovat laitteen annostelijan fysikaalisia yksiköitä J/cm<sup>2</sup>  
Aloituseros määräytyy MED:n tai valoihotyyppin mukaan



SUP-hoitoa käytetään ihottumien-, psoriasisien-, lievän täplä psoriasisien - ja kutinan hoitoon. Hoidolla vähennetään ihon tulehduksen oireita. Hoidon käy-  
tään UV-A- ja UV-B-säteilyn aallonpituuksia, jossa hoitoajan pituutta säädellään  
kellokytkimen avulla. Ultraviolettisäteily tuotetaan loisteputkien avulla ja näiden  
säteilyn aallonpituudet ovat 315-360 nm alueella. Hoito aika määräytyy potilaan;  
ihosairauden, ihotyypin, SUP-loisteputkien määrän ja annosnopeus mukaan.  
Valotusaika aloitetaan yleensä muutamasta minuutista ja sitä pidennetään vähi-  
tellen. Viimeiset kerrat voivat olla noin 15 minuutin pituisia, hoitojen vaikutukset  
nähdään suunnilleen kymmenennen kerran jälkeen ja yleensä hoitojen päätty-  
vät 15:sta kerran jälkeen. Silmät suojataan hoidon aikana UV-säteilyn vaikutuk-  
silta. Hoidossa otetaan tiedot muistiin säteilyannoksista sekä hoitokerroista.  
(Terveyskirjasto DUODECIM 2020; Laihia ym. 2009, s. 184-185)

UV-A1-hoitomuotoa käytetään ihon kovettumatautiin sekä atooppiseen ihottu-  
maan. Hoitoon käytetään pitkäaaltoista UV-A1-säteilyn 340-400 nanomerin aal-  
lonpituutta. Hoitolaitteilta kuitenkin vaaditaan suurta tehoa, jotta hoito saataisiin  
tehtyä lyhyessä ajassa, annostukset ovat 20-130 J/cm<sup>2</sup> luokkaa. Suuri teho ai-  
heuttaa voimakasta lämpenemistä ja tämä saa potilaan hikoilemaan paljon. Esi-  
merkiksi atooppinen ihottuma aiheuttaa kutinaa sekä hikoilua ja hoito vastaa-  
vasti lisää sitä merkittävästi. Hoito tehdään UV-A1-loisteputkilla ihon hoitami-  
seen, tai pienemmillä monimetallilampuilla käsiin pienemmille alueille. Saksassa  
on kuitenkin kehitetty UVA1-hoitolaite, jossa lämpö on saatu suodatettua pois ja  
sen tuuletusta tehostettu. Loisteputkilla tehtyä hoitomuotoa ei käytetä usein  
Suomessa, johon on syynä näiden korkea hinta ja iso lämmön tuotto. Suo-  
messa sairaaloissa on vain muutamia hoitolaitteita. Atooppiseen ihottuman hoi-  
toon on käytetty enimmäkseen SUP-valonhoitoa Suomessa. (Aikakauskirja  
DUODECIM 2000; Laihia ym. 2009, s. 185-186)

## 4.2.2 Näkyvän valon hoidot

Valohoitojen on havaittu edistävän verenkiertoa ja lisäävän verisolujen muodostumista. Ensimmäiseksi käyttöön tuli aurinkokylvyt ja keinovalohoidot. Valohoitoja käytettiin isorokkoon ja tuberkuloosin sekä ihohukkaan. Hoidot suoritettiin antamalla valoa suoraan paljaalle iholle. Tässä alaluvussa käsitellään sini- ja punavalohoitojen ominaisuuksia.

Sinivalohoitoa käytetään vastasyntyneiden keltataudin hoitamiseen. Ihon keltaisuus johtuu vauvan veressä olevasta sappiväriaineesta (bilirubiinista), joka saa ihon ja silmät kellertämään. Bilirubiinia syntyy verenkierron hemoglobiinin hajotessa punasuluissa, joka yleensä johtuu vaikeasta synnytyksestä tai aikaisesta syntymisestä. Vastasyntyneellä ei ole vielä kehittynyt tarpeeksi maksa hajottamaan bilirubiinia verestä, eikä myöskään aivoverisuonissa oleva veri-aivoneste. Liiallinen bilirubiini voi aiheuttaa vaurioita aivoihin ja sen hoitoon käytetään sinisen valon aallonpituuksia. (Hietanen ym. 2009, s. 266-267)

Keltataudinhoito määräytyy vauvan painon, iän ja bilirubiinin määrän mukaan. Sinivalohoidossa käytetään sinisen valon 420-480 nm aallonpituuksia ja säteilyn teho on iholla 10-50  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  luokkaa. Sininen valo muuttaa ihossa ja pintaverisuonissa olevan bilirubiinin vähemmän vaaralliseksi vesiliukoiseksi aineeksi. Tämä poistuu lopulta kehosta virtsan mukana. Hoito kestää yleensä 1-3 päivää, jossa vauvan paljasta ihoa valaistaan sinivalolampulla tai optisella kuitumatolla. Hoidon aikana silmät suojataan siniseltä valolta, koska valo saattaa vaurioittaa silmiä. (Hietanen ym. 2009, s. 267-268)

Punavalohoitoa käytetään mm. lihasten- ja nivelkipujen hoitamiseen ja murtumien kipujen lievittämiseen. Punavalohoidossa valotetaan hoidettavaa aluetta punaisella valolla (630-780 nanometriä) sekä lähi-infrapunalla (IR-A, 780-1400 nm). Näillä aallonpituuksilla on ominaista vaikuttaa ihon pintaa syvemmälle oleviin soluihin. Punainen valo on ainoa näkyvän valon aallonpituuksista, joka kykenee läpäisemään ihoa. Punainen valo suojaa soluja ja parantaa aineenvaihduntaa. Lähi-infrapuna vaikuttaa syvemmälle ihoon, kuin pitempiaaltoinen infrapuna ja kulkeutuu näin syvemmälle kudokseen. Lähi-infrapuna auttaa lihasten palautumiseen ja vähentää nivelkipuja. Punavalohoidossa yleisimmät punaisen valon

aallonpituudet ovat; 633, 660 ja 670 nanometrin säteet. Lähi-infrapunalla taas käytetyimmät ovat; 780, 808, 810, 830, 850, 904, 1064 ja 1072 nm aallonpituudet. Hoidossa annetaan riittävä määrä valoannostusta, jotta hoidosta on olisi hyötyä. Taulukosta 9 nähdään mihin hoitoihin eri aallonpituuksia käytetään, vaadittavien annostusten voimakkuudet, alueet, hoidon kestot ja hoitokerrat. Taulukosta huomaamme säteilyn tehon ja annoksen olevan huomattavasti pienempää silmän- sekä kasvojen alueella, jotka ovat huomattavasti herkempiä alueita. Punavalohoidossa valonlähteinä käytetään teholedejä, joista osa lähettää punaisen aallonpituuksia ja toiset lähi-infrapun säteitä. Punavalohoitoa voidaan antaa klinikoilla, mutta on myös olemassa laitteita suoraan kotihoitoon kuluttajille. (Heiskanen & Partonen 2016; (Red aurora 2019)

TAULUKKO 9. Valohoitoparametrien vaihtelu (Heiskanen 2016, mukailten)

Säteily	Aallonpituusalue, $\lambda$ (nm)	Teho (mw)	Valokeilan ala (cm <sup>2</sup> )	Annos (J)	Vuontiheys (mW/cm <sup>2</sup> )	Valotuksen kesto (min)	Hoitokerrat	Sairaus
Näkyvä valo	690	80	1	48	80	10	10	Huuliherpes
	670	40	0,79	1,6	51	0,75	1	Huuliherpes
IR-A	780	7,5	0,071	0,3	106	0,75	4	Silmäpohjan ikärappeutuma
	830	50	0,28	40	17680	13,3	10	Kilpirauhasen vajaatoiminta
	830	800	25	1250	32	32	12	Nivelrikko
	850	100	0,79	48	13000	8	8	Nivelrikko

#### 4.2.3 Infrapunasaunat

Infrapunasaunojen käyttö on laajentunut julkisista palveluista myös kuluttajien kohteihin. Infrapunasaunan terveydelliset hyötyvaikutukset perustuvat infrapunälämmön syvälämpövaikutukseen, jossa kehoa lämmittää ainoastaan lämpösäteily. Infrapunan säteet vaikuttavat 4-5 cm syvyyteen ja lämmittävät ihoa ja ihon alaisia kudoksia. Tavallisessa saunassa kehon lämpeneminen johtuu lämmön johtumisesta ja lämpösäteilystä. Infrapunasaunoissa käytetään IR-C-kaukoinfrapunaa, joka lähettää 5,6-15  $\mu$ m aallonpituuksia. Infrapunasaunan lämpötila on normaalisti 43-54 °C, mutta se aiheuttaa hikoilua nopeammin, kuin normaali sauna. (Hietanen ym. 2009, s. 273)

Kaukoinfrapun hyötyvaikutuksia on monia, se lieventää lihas- ja nivelkipuja, jonka saa aikaan lämmön laajentaessa ääriverensuonia ja edistää verenkiertoa.

Kaukoinfrapuna nopeuttaa vammojen paranemista ja auttaa lihasten palautumista urheilusuoritusten jälkeen sekä parantaa aineidenvaihduntaa. Kaukoinfrapuna myös auttaa ihosairauksien paranemiseen, kuten psoriasikseen. Infrapuna lisää aineenvaihduntaa ja samalla kuluttaa myös kaloreita kehon hikoillessa. Saunoessa 30 minuutin ajan infrapunasaunassa polttaa saman verran kaloreita, kuin useamman kilometrin juoksulenkki. Matalan lämpötilansa ansiosta infrapunasauna rasittaa vähemmän sydäntä ja sopii myös henkilöille, joilla on verenkiertoelimistön ongelmia. Infrapunasaunan normaalissa käytössä ei ole vaaroja, mutta liian pitkään altistuminen lämpökuormalle ei ole suotavaa. Saunomista kannattaa kysyä erikseen lääkäriltä, kun terveydentila ei ole vakaa ja esimerkiksi sairastaa sydän- tai verensuonisairauksia. Infrapunasaunojen rakenne on yleensä samanlainen, kuin perinteisissä saunoissa. Poikkeuksena on, että kiu-kaan tilalle on laitettu keraaminen tai metallinen infrapunälämmitin. Lämmittimet sijaitsevat saunan etu- ja takaosassa. (KotiSpa n.d.; Hietanen ym. 2009, s. 273; STUK 2019)

#### 4.2.4 Yhteenveto

Lopuksi näemme taulukosta 10 terveydenhuollon tulokset, josta nähdään optisen säteilyn aallonpituusalue, käyttökohde ja tyypillisesti käytetty valonlähde. Ensimmäisenä taulukosta nähdään, että keskiaaltoista UV-B-säteilyä käytetään UV-B-hoitoon, joka on tarkoitettu ihon hoitamiseen. Hoitoa kutsutaan kapeaspektiseksi UV-B-hoidoksi, jossa tuotetaan 309-313 nanometrin (nm) aallonpituuksia. Hoitoa voidaan myös tehdä laajakaistaisella spektrillä, jossa käytetään 290-320 nm pituuksia. Hoitoa käytetään psoriasikseen, punajäkälään, ihokutinaan, nokkosihottumaan, sekä iholymfoomaan. Valonlähteenä käytetään loisteputkihoito-laitteita. (Laihia ym. 2009, s. 183-184)

TAULUKKO 10. Optisen säteilyn käyttökohteita terveydenhuollossa

<b><i>Terveydenhuolto</i></b>			
<i>Säteily</i>	<i>Aallonpituusalue, λ (nm)</i>	<i>Käyttökohde</i>	<i>Valonlähde</i>
<b><i>UV-C</i></b>	100-280		
<b><i>UV-B</i></b>	280-315	UV-B-hoito	Loisteputki
<b><i>UV-A</i></b>	315-400	SUP-hoito UV-A1-hoito	Loisteputki Loisteputki tai monimetallilamppu
	400-430		
<b><i>Näkyvä valo</i></b>	430-490	Sinivalohoito	Sinivalolamppu tai optinen kuitumatto
	490-560		
	560-590		
	590-630		
	630-780	Punavalohoito	Led
<b><i>IR-A</i></b>	780-1400	Punavalohoito	Led
<b><i>IR-B</i></b>	1400-3000		
<b><i>IR-C</i></b>	3000-10 <sup>6</sup>	Infrapunasauna	Keraaminen tai metallinen infrapunalämmittin Matalalämpöiset lämmittimet

SUP-hoitoa käytetään ihon hoitamiseen, jossa vähennetään ihon tulehduksen oireita. Hoitavana säteilynä käytetään UV-A-säteilyn 315-360 nm aallonpituuksia ja valonlähteenä toimii loisteputket. SUP-hoidolla hoidetaan ihottumia, psoriasista, lievää täplä psoriasista sekä kutinaa. (Laihia ym. 2009, s. 184)

Ihon kovettumatautiin sekä atooppiseen ihottumaan hoitoon käytetään UV-A1-hoitoa, jossa hoitavana säteilynä käytetään UV-A-säteilyn 340-400 nm aallonpituuksia. Hoitoon vaaditaan suurta tehoa ja annostus vaihtelee 20-130 J/cm<sup>2</sup> tarpeen mukaan. Suurien ihoalueiden hoitamiseen käytetään loisteputkia ja pienempiin, kuten käsiin monimetallilamppuja. (Aikakauskirja DUODECIM 2000; Laihia ym. 2009, s. 185-186)

Näkyvän valon sinistä aallonpituutta käytetään vastasyntyneiden keltataudin hoitamiseen, jossa vauvan keltaisuus johtuu vauvan veressä olevasta sappiväriaineesta, joka on vaarallista vastasyntyneelle. Hoitoon käytetään 420-480 nm aallonpituuksia ja hoidon annostus on 10-50 µW/cm<sup>2</sup>, valontuottajana käytetään sinivalolamppuja sekä optisia kuitumattoja. (Hietanen ym. 2009, s. 266-267)

Näkyvän valon punaista aallonpituutta käytetään lihasten- ja nivelkipujen hoitamiseen ja murtumien kipujen lievittämiseen. Hoidossa käytetään punaisen valon 630-780 nm aallonpituuksia ja lähi-IR-A-säteilyn 780-1400 nm aaltoja. Näille on ominaista vaikuttaa pintaa syvemmille kudoksiin. Punaisella valolla parannetaan yleensä ihon ylimmäisiä kerroksia, jolla parannetaan haavoja ja iho-ongelmia sekä aineenvaihduntaa. Lähi-infrapunalla hoidetaan syvempiä kudoksia, jolla parannetaan lihasten-, ja nivelkipujen palautumista. Tehonlähteitä käytetään teholedejä, joissa osa ledeistä lähettää punaisen valon aallonpituuksia ja toiset lähi-infrapunan pituuksia. (Heiskanen & Partonen 2016)

## 5 POHDINTA

Työn tavoitteena oli selvittää kirjallisista- ja verkkosivujen lähteistä mistä aallonpituuksista optinen säteily koostuu ja mitä ulkoisia terveystaikutuksia sillä on ihmiseen pinnallisesti. Sen lisäksi tarkasteltiin mitä valonlähteitä käytetään optisen säteilyn tuottamiseen ja mitä käyttösovelluksia on olemassa talotekniikassa ja terveydenhuollossa.

Ultraviolettisäteilyn käyttö keskittyi talotekniikassa veden desinfiointiin. Desinfiointinissa käytetään ensisijaisesti ultravioletin UV-C-aallonpituuksia, joilla vedestä poistetaan bakteereja, viruksia ja sekä alkuelämiä. Veden puhdistuksessa valonlähteinä käytetään matalapurkauslamppuja, keskipainelamppuja sekä ledejä. Terveystaikutuksessa ultraviolettisäteilyä käytetään UV-B-, SUP-, UV-A1-valohoitoihin. Ultravioletti-valohoidoissa keskitytään käyttämään UV-B-, ja UV-A-aallonpituuksia, joissa annostus annetaan suositusten mukaan. Ultravioletti-valohoitoja käytetään ihon tulehdusten- ja sairauksien hoitamiseen, joissa valonlähteinä käytetään loisteputkia tai monimetallilamppuja.

Näkyvää valoa käytetään tällä hetkellä talotekniikassa valaistukseen ja veden-, ilman-, ja pintojen desinfiointiin. Valaistuksessa näkyvän valon aallonpituuksia hyödynnetään ulko- sekä sisävalaistukseen, jossa käytetään pääosin valkoisen sävystä valoa. Valaistukseen voidaan kuitenkin käyttää eri värisiä valon aallonpituuksia esimerkiksi tunnelmavalaukseen luomiseen, aina violetista punaiseen. Näkyvän valonlähteitä on lukuisia, joita ovat esimerkiksi ledit ja loisteputket. Ilman ja pintojen desinfiointiin on tullut uutena ratkaisuna sinistä valoa tuottavat fotonidesinfiointivalaisimet. Valaisimilla pystytään ehkäisemään bakteereja, homeita, hiivoja, viruksia sekä itiöitä. Sinisen valon hyvänä puolena on, ettei se aiheita terveystaikutuksia suurillakaan määrillä, toisin kuin ultraviolettisäteilyn UV-A- ja UV-B-säteilyt, jotka aiheuttivat suurilla määrillä ihon palamista sekä palovammoja. Ultraviolettisäteilyn käyttö on kuitenkin suunniteltu turvalliseksi desinfiointinissa, eikä siitä synny haittaa. Terveystaikutuksessa näkyvän valon aallonpituuksia hyödynnetään puna- ja sinivalohoidossa. Punavalohoidossa hoitetaan lihasten-, nivelten-, murtumien vauriota ja kipuja. Punavalohoidossa käy-

tään punaista valoa sekä lähi-IR-A-säteilyä, joissa valonlähteinä käytetään teholedejä. Punavalonhoitolaitteita on aina kotikäytöstä sairaanhoitolaitteisiin. Punaisella valolla on ominaista läpäistä ihoa ja sitä käytetään pinnallisiin vaivojen hoitoon, kuten haavoihin ja iho-ongelmiin. Lähi-IR-A-säteily vaikuttaa syvemmälle ihoon ja sillä hyödynnetään lihasten palautumiseen ja kipujen lieventämiseen. Sinivalohoitoa käytetään vastasyntyneiden keltataudin hoitamiseen, jossa vastasyntyntä valotetaan sinisellä valolla, jotta vauvan verestä saadaan poistettua haitallinen sappiväriaine. Vauvan silmät suojataan hoidon ajaksi ja valonlähteinä käytetään sinivalolamppua tai optista kuitumattoa.

Infrapunasäteilyä käytetään talotekniikassa lämmittämiseen ja kuivaukseen, jossa hyödynnettiin infrapunalämmittimiä. Infrapunalämmittimen lähettämä lämpösäteily (IR) lämmittää henkilöitä ja esineitä osuessaan niihin. Infrapunalämmittimistä saadaan paras hyöty suuntaamalla ne haluttuihin lämmitettäviin kohtiin. Kvartsi-, ja lamppusäteilijöitä käytetään lähi-IR-A-säteilyn tuottamiseen, sekä keski-IR-säteilyn tuottamiseen käytetään kvartsi-, tai metalliputkilämmittimiä. Lasilevy-, ja keraamilämmittimiä käytetään taas IR-C säteilyn tuottamiseen. Parhaiten lämmittävät lämpösäteilijät lähettävät lähi-infrapunaa (IR-A) säteilyä, jossa lämmön tuotto tulee ainoastaan lämpösäteilyn avulla, eikä johtamalla. Sen lisäksi lämmittimille oli ominaista mm. erittäin nopea lämpeneminen, hyvä säädettävyys, tehokas tunkeutumiskyky ja suuri tehoteho.

Taulukoista 9 ja 10 huomataan, että loisteputkien ja ledien käyttökohteita oli selkeästi enemmän muihin valonlähteisiin verrattuna. Molempien valonlähteiden ominaisuuksien vuoksi niillä pystyttiin toistamaan useampia optisen säteilyn aallonpituuksia. Loisteputkilla pystyttiin tuottamaan ultraviolettisäteilyä ja näkyvän valon aallonpituuksia. Ledillä taas pystyttiin tuottamaan kaikkia optisen säteilyn aallonpituuksia käyttäen eri puolijohteita ja pinnoitteita ledeissä.

Opinnäytetyön käydyistä aiheista nähdään, mihin optisen säteilyn aallonpituuksia voidaan käyttää ja millä niitä voidaan tuottaa sekä mitä ominaisuuksia ja käyttömahdollisuuksia eri valonlähteillä on. Esimerkiksi veden-, ilman- ja pintojen desinfiointiin voidaan käyttää optista säteilyä kemikaalien ja puhdistusainesten sijaan. Desinfiointivaikuttavan sinisen valon käyttö on turvallista ihmiselle sekä veden



puhdistukseen käytetty ultraviolettisäteily ei aiheuta veteen ollenkaan sivutuotteita, eikä vaikuta sen makuun tai hajuun. Puhdistavia sinisen valon fotonidesinfiointivalaisimia voidaan sijoittaa aina ambulansseista sairaaloihin ja kouluihin. Sinisen valon valaisimilla voidaan vähentää merkittävästi tautien syntymistä sekä parantaa ihmisten hyvinvointia ja olosuhteita. Valaisimien vaihto voidaan yksinkertaisesti suorittaa vaihtamalla ainoastaan vanhat loisteputken uusiin puhdistaviin fotonidesinfiointilediloisteputkiin, taikka kokonaan uusiin puhdistaviin ledivalaisimiin. Lämmityksessä vaihtoehtoisena lämmitystapana toisen lämmityksen rinnalla voidaan käyttää infrapunälämmitystä, jossa lyhytaaltainen infrapuna (IR-A) on kaikkien sopivin ratkaisu ominaisuuksiltaan. Infrapunasäteilijöitä voidaan käyttää mm. terasseilla, parvekkeilla tai mökeillä, joissa tarvitaan vain hetkellisesti lämpöä.

Työ onnistui kaiken kaikkiaan melko hyvin, työ on sisällöltään laaja ja kertoo monipuolisesti käytyt aiheet. Tiedonlähteinä on käytetty runsaasti, mutta vielä olisi tarvinnut lisää jatkotutkimuksia ajatellen. Tässä opinnäytetyössä ei ehditty käymään lävitse optisen säteilyn tutkimuksia, jossa olisi selvitetty mitä tutkimuksia tällä hetkellä on tehty ja mitä tulevaisuuden käyttösovelluksia talotekniikassa ja hyvinvointiteknologiassa tulisi olemaan. Työn tiivistäminen ja rajaaminen vei paljon aikaa. Kaiken kaikkiaan tämä opinnäytetyö pitää hyvän tietopaketin optisesta säteilystä ja sen käyttömahdollisuuksista. Työ vaatisi vielä jatkoselvitystä tutkimuksien osalta.

## LÄHTEET

Aikakauskirja DUODECIM. 2000. Kylmää mustavaloa. Lääketieteellinen aikakauskirja (4). Luettu 28.10.2019.

<https://www.duodecimlehti.fi/lehti/2000/4/duo91343>

Aqua Nova n.d. Tuote. UV-laite Sterilight. Kuva. Luettu. 1.3.2020.

<https://www.aquanova.fi/tuote/sterilight-s5q-pa2/>

Chauvin Arnoux. n.d. Emissiokerroin ja termografionti. Luettu 10.10.2019

[https://chauvin-arnoux.fi/wp-content/uploads/2014/09/FI\\_Emissionsfaktor.pdf](https://chauvin-arnoux.fi/wp-content/uploads/2014/09/FI_Emissionsfaktor.pdf)

Electronicsforu. 2017. IR LED, Infrared LED, Infrared Sensor. Luettu 20.9.2019.

<https://www.electronicsforu.com/resources/learn-electronics/ir-led-infrared-sensor-basics>

Halonen, L. & Lehtovaara, J. 1992. Valaistustekniikka. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

Hannuksela, A. 2006. 1. painos. Hyvä, paha aurinko. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim.

Heiskanen, V. 2016. Valtsun terveysblogi. Ravitsemus- ja lääketieteellisiä pohdintoja. Luettu 2.11.2019.

<http://valtsuhealth.blogspot.com/2016/05/kirjoitukseni-erikoislaakari-lehdessa.html>

Heiskanen, V. & Partonen, T. 2016. Punainen valo ja lähi-infrapuna sairastilojen hoidossa. Erikoislääkäri-lehti 2/2016. Luettu 1.11.2019.

<http://valtsuhealth.blogspot.com/2016/05/kirjoitukseni-erikoislaakari-lehdessa.html>

Helppi, V. 2006. Läpinäkyvyys ja heijastuminen mallinnuksessa. Mediatekniikan koulutusohjelma. Lahden ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Hengityслиitto. 2020. VOC-yhdisteet. Luettu 20.10.2019

<https://www.hengityслиitto.fi/fi/sisailma/sisailma-asiat-sisailmaongelmat/kaasumaiset-epapuhautudet/voc-yhdisteet>

Hietanen, M., Visuri, R. & Nyberg, H. 2009. Ionisoimaton säteily - Ultravioletti- ja lasersäteily. 8 Muu optinen säteily. Helsinki: Kariston Kirjapaino Oy. Luettu 20.8.2019.

<https://www.stuk.fi/documents/12547/494524/ultravioletti-ja-lasers%C3%A4teily-kirja-luku-8.pdf/3eb47806-d3ef-4f68-9fd8-2eb2ef126d74>

Infradex. 2003. Emissiivisyystaulukot. Luettu 29.9.2019.

<https://www.infradex.com/wp-content/uploads/2016/08/emissiivisyys.pdf>

Infradex. 2020. Lämpösäteily & infrapuna. Luettu 22.9.2019.

<https://www.infradex.com/lamposateily-ja-lampokamera/>

Infradex. 2020. LVIK. Luettu 10.10.2019.

<https://www.infradex.com/lvik/>

Infradex. 2020. Sähkölaitteiden lämpökuvaus. Luettu 29.9.2019.

<https://www.infradex.com/sahkolaitteiden-lampokuvaus/>

Ilmatieteen laitos. n.d. Ilmakehä-ABC. UV-indeksi. Luettu 25.8.2019.

<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/ilmakeha-abc?ini=U>

Ilmatieteen laitos. n.d. Säteily ja kirkkausvaihtelut. Auringon säteily ja kirkkausvaihtelut. Teematietaa. Luettu 25.8.2019.

<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/sateily-ja-kirkkausvaihtelut>

Jokela, K., Ylianttila L., Visuri, R. & Hietanen, M. 2009. Ionisoimaton säteily - Ultravioletti- ja lasersäteily. 3 Laserturvallisuus. Helsinki: Kariston Kirjapaino Oy. Luettu 15.9.2019.

<https://www.stuk.fi/documents/12547/494524/ultravioletti-ja-lasers%C3%A4teily-kirja-luku-3.pdf/bb313c90-f7bc-4ddd-8604-a2fa0ccec43c>

Karhe, M. 2012. Led-tekniikka Pirkanmaan osuuskaupan kohteessa. Talotekniikka. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Kattelus, J. 2018. Apuvälinehiiren liitettävän silmänräpäyskytkimen suunnittelu ja toteutus. Sähkö- ja automaatiotekniikka. Metropolia ammattikorkeakoulu. Insinöörityö.

Kneissl, M., Kolbe, T., Chua, C., Kueller, V., Lobo, N., Stellmach, J., Knauer, A., Rodriguez, H., Einfeldt, S., Yang, Z., Johnson, N.M., Weyers, M. Ferdinand-Braun-Institut. 2011. Topic: ultraviolet light from LEDs. Technology with benefits: ultraviolet light from semiconductor LEDs. Luettu 20.9.2019.

<https://www.fbh-berlin.de/en/publications-patents/frequent/05-uv-leds/topic-uv-leds>

KotiSpa infrapunasaunat. n.d. Infrapunasaunat sopivat myös omaan kotiisi. Tietoa. Luettu 4.11.2019.

<https://www.infrapunasaunat.fi/infrapunasauna-tietoa>

Kuusela, T. 2015. Suomen akatemia. Mihin käytetään infrapunavaloa? Luettu 7.9.2019

<https://www.aka.fi/fi/tietysti/kysy-tieteesta/mihin-kaytetaan-infrapunavaloa/#8be87ea6>

Laihia, J., Pastila, R., Koulu, L., Auvinen, A., Hasan, T., Snellman, E., Kojo, K. & Jokela, K. 2009. Ionisoimaton säteily - Ultravioletti- ja lasersäteily. 5 UV-säteilyn biologisia ja terveydellisiä vaikutuksia. Helsinki: Kariston Kirjapaino Oy. Luettu 20.8.2019.

<https://www.stuk.fi/documents/12547/494524/ultravioletti-ja-lasers%C3%A4teily-kirja-luku-5.pdf/fb983d4c-7b22-4ce2-805b-ded87bcc8986>

Ledvance. 2020. Keraamiset monimetallilamput. POWERBALL HCI-T. Kuva. Luettu 16.9.2019.

<https://www.ledvance.fi/tuotteet/lamput/kaasupurkauslamput/keramiset-moni-metallilamput/powerball-hci-t/index.jsp>

Ledvance. 2020. Kaksikantaloistelamput T2. SA-Type T12. Kuva. Luettu 22.9.2019.

<https://www.ledvance.fi/tuotteet/lamput/kaksikantaloistelamput/kaksikantaloistelamput-t12/sa-type-t12/index.jsp>

Ledvance. 2020. Suurpainenatriumlamput avonaisiin ja suljettuihin valaisimiin. VIALOX NAV-T. Kuva. Luettu 22.9.2019.

<https://www.ledvance.fi/tuotteet/lamput/kaasupurkauslamput/suurpainenatriumlamput-avonaisiin-ja-suljettuihin-valaisimiin/vialox-nav-t/index.jsp>

Ledvance. 2020. Led-valon värit. Fotoluminesenssissä: sinistä ledeistä tulee valkoisia. Kuva. Luettu 16.9.2019.

<https://www.ledvance.fi/tuotteet/tuotetiedot/led-perustiedot/led-valojen-vaerit/index.jsp>

Ledvance. 2020. LED-nauhat puoliammattilaiskäyttöön. VALUE Flex 600. Kuva. Luettu 16.9.2019.

<https://www.ledvance.fi/tuotteet/liitaentelaitteet-led-liitaentelaitteet-ja-moduulit/valonlahteet-ja-moduulit/suorakaiteen-malliset-led-moduulit-monipuolisiin-ja-raeaeloeytyihin-valaistusratkaisuihin/led-nauhat-puoliammattilaiskaeyt-toeoen/value-flex-600-discontinued/index.jsp>

Lehtinen, E. 2017. Terassilämmittimet jatkavat kesää. Turun Sanomat. 9/2011. Luettu 25.10.2019.

<https://www.ts.fi/koti/1279292677/Terassilammitimet+jatkavat+kesaa>

Led Tailor. 2019. LTI-teknologiaesite. Blue is clean. Luettu 22.10.2019

<https://ledtailor.fi/wordpress/wp-content/uploads/LTI-TEKNOLOGIAESITE.pdf>

Led Tailor. 2019. WiSDOM AiR-esite. WiSDOM AiR-fotonidesinfiointivalaisinsarja. Luettu 20.10.2019

<https://ledtailor.fi/wordpress/wp-content/uploads/WiSDOM-AiR-esite.pdf>

Limente. n.d. Värilämpötila. Luettu 15.9.2019

[https://www.limente.fi/fi/varilampotila\\_14.html](https://www.limente.fi/fi/varilampotila_14.html)

Mikkola, J. 2016. Alkusanat. Opetusmoniste, sähkölämpötekniikat. Luettu 27.10.2019.

<https://docplayer.fi/6214012-Alkusanat-monisteessa-olevat-tekstit-ovat-peraisin-seuraavista-lahteista.html>

Netrauta n.d. Infrapunalämmittimet. Kuva. Luettu 25.10.2019.

<https://www.netrauta.fi/terassilammitin-solamagic-eco-pro-2000-btc-bluetooth-antrasiitti>

Opetus.Tv. 2020. Interferenssi ja diffraktio. Luettu 27.8.2019.

<https://polku.opetus.tv/node/562>

Pastila, R., Nyberg, H. & Jokela, K. 2009. Ionisoimaton säteily - Ultravioletti- ja lasersäteily. 1 Johdatus optiseen säteilyyn. Helsinki: Kariston Kirjapaino Oy. Luettu 20.8.2019.

<https://www.stuk.fi/documents/12547/494524/ultravioletti-ja-lasers%C3%A4teily-kirja-luku-1.pdf/ad31d4cb-f566-47ec-88d8-80f3ef5650ba>

Peräniitty, V. 1995. Sähkölämpötekniikat. Periaatteet ja sovellukset. Helsinki: Hakapaino Oy.

Red Aurora. 2019. Tietoa punavalosta. Luettu. 3.11.2019.

<https://www.redaurora.fi/fi/redlight>

Rinne, L. 2017. Ihmisen pään asennon anturointi. Sähkötekniikan tutkinto-ohjelma. Oulun yliopisto. Kandidaatintyö.

STUK Säteilyturvakeskus. 2019. Kodin ja toimiston säteilevät laitteet. Infrapunasauvat. Luettu 5.11.2019.

<https://www.stuk.fi/aiheet/kodin-ja-toimiston-sateilevat-laitteet/infrapunasauvat>

Suomalainen M. 2011. Lämpökuvaus sähkökunnossapidossa. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Saimaan ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Terveyskirjasto DUODECIM. 2020. UV-valohoito. SUP-valohoito. Terveyskirjasto. Luettu 6.11.2019.

[https://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p\\_artikkeli=dlk00750](https://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=dlk00750)

Tikkanen, O. 2016. Esiselvitys veden UV-desinfiointista Itkonniemen vedentuotantolaitoksella. Ympäristötekniikan koulutusohjelma. Savonia-ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Trotec. 2019. Otetaan selville – miten infrapunalämmitin oikeastaan toimii. Luettu 25.10.2019

<https://www.trotec-blog.com/su/ajankohtaista/otetaan-selville-miten-infrapunalammitin-oikeastaan-toimii/>

Tähtitieteellinen yhdistys Ursa. 2020. Polarisaatio. Luettu 5.9.2019

<https://www.ursa.fi/ilmakeha/havaitseminen/ohjeita/halojen-havainto-opas/polarisaatio.html>

Wikipedia. 2011. Sähkömagneettisen säteilyn spektri. Kuva. Luettu 5.9.2019.

[https://fi.wikipedia.org/wiki/S%C3%A4hk%C3%B6magneettinen\\_s%C3%A4teily#/media/Tiedosto:EM\\_spectrum\\_fi.svg](https://fi.wikipedia.org/wiki/S%C3%A4hk%C3%B6magneettinen_s%C3%A4teily#/media/Tiedosto:EM_spectrum_fi.svg)

Wikipedia. 2006. Black light bulb. Kuva. Luettu 22.9.2019.

[https://en.wikipedia.org/wiki/File:Black\\_light\\_bulb.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Black_light_bulb.jpg)

Wikimedia Commons. 2005. Welding. Kuva. Luettu 6.9.2019.

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:GMAW\\_welding.af.ncs.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:GMAW_welding.af.ncs.jpg)

Würtele, M.A., Kolbe, T., Lipsz, M., Külberg, A., Weyers, M., Kneissl, M., Jekel, M. 2011. Ferdinand-Braun-Institut. Topic: ultraviolet light from LEDs. About ultraviolet light – and its applications. Luettu 20.9.2019.

<https://www.fbh-berlin.de/en/publications-patents/frequent/05-uv-leds/topic-uv-leds>

Ylianttila, L. & Jokela, K. 2009. Ionisoimaton säteily - Ultravioletti- ja lasersäteily. 2 Radiometria. Helsinki: Kariston Kirjapaino Oy. Luettu 10.9.2019.

<https://www.stuk.fi/documents/12547/494524/ultravioletti-ja-lasers%C3%A4teily-kirja-luku-2.pdf/e78f269b-98dc-42e4-bab0-36496e0b3b62>

Ylianttila, L., Visuri, R., Hietanen, M. & Pastila, R. 2009. Ionisoimaton säteily - Ultravioletti- ja lasersäteily. 6 Altistuminen UV-säteilylle. Helsinki: Kariston Kirjapaino Oy. Luettu 20.8.2019.

<https://www.stuk.fi/documents/12547/494524/ultravioletti-ja-lasersateily-kirja-luku-6.pdf/3cd34067-ca10-4ce2-b1d7-0304c11caf62>

## LIITTEET

## Liite 1. Ultraviolettisäteilyn aallonpituudet

## Ultraviolettisäteily (UV)

<i>Säteily</i>	<i>Lyhytaaltainen UV-C</i>	<i>Keskiaaltainen UV-B</i>	<i>Pitkäaaltainen UV-A</i>
<i>Aallonpituusalue, <math>\lambda</math> (nm)</i>	100-280	280-315	315-400

<i>Säteily</i>	<i>Lyhytaaltainen UV-C</i>	<i>Keskiaaltainen UV-B</i>	<i>Pitkäaaltainen UV-A</i>
<i>Aallonpituusalue (nm)</i>	100-280	280-315	315-400

<i>Säteily</i>	<i>Lyhytaaltainen UV-C</i>	<i>Keskiaaltainen UV-B</i>	<i>Pitkäaaltainen UV-A</i>
<i>Aallonpituusalue (nm)</i>	100-280	280-315	315-400

## Liite 2. Näkyvän valon aallonpituudet

## Näkyvä valo

<i>Säteily</i>	<i>Violetti</i>	<i>Sininen</i>	<i>Vihreä</i>	<i>Keltainen</i>	<i>Oranssi</i>	<i>Punainen</i>
<i>Aallonpituusalue, <math>\lambda</math> (nm)</i>	400-430	430-490	490-560	560-590	590-630	630-780

<i>Säteily</i>	<i>Violetti</i>	<i>Sininen</i>	<i>Vihreä</i>	<i>Keltainen</i>	<i>Oranssi</i>	<i>Punainen</i>
<i>Aallonpituusalue (nm)</i>	400-430	430-490	490-560	560-590	590-630	630-780

<i>Säteily</i>	<i>Violetti</i>	<i>Sininen</i>	<i>Vihreä</i>	<i>Keltainen</i>	<i>Oranssi</i>	<i>Punainen</i>
<i>Aallonpituusalue, <math>\lambda</math> (nm)</i>	400-430	430-490	490-560	560-590	590-630	630-780



## Liite 3. Infrapunasäteilyn aallonpituudet

## Infrapunasäteily

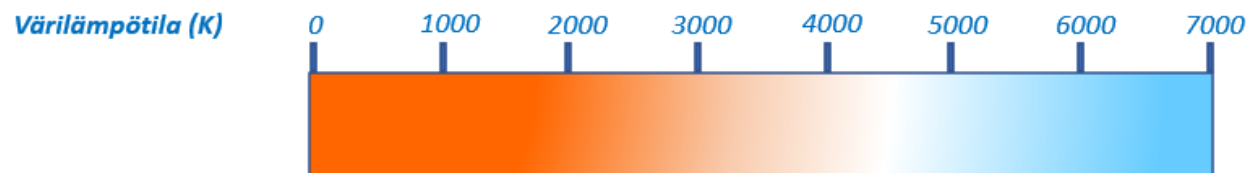
<i>Säteily</i>	<i>Lähi-IR-A</i>	<i>Keski-IR-B</i>	<i>Kauko-IR-C</i>
<i>Aallonpituusalue (nm)</i>	780-1400	1400-3000	3000-1000 000

## Liite 4. Optisen säteilyn valonlähteitä

		Valonlähteet								
Säteily	Aallonpituusalue, $\lambda$ (nm)	Aurinko	Monimetalli- lamput	Sekavalo- lamput	LED	Loiste- lamput	Heijastinloiste- lamput	Mustavalo- lamput	Pienpainenatrium- lamput	Suurpainenatrium- lamput
UV-C	100-280	x			x	x				
UV-B	280-315	x	xx	xx	x	x	xx			
UV-A	315-400	x			x	x	xx	xx		
Näkyvä valo	400-430	xx	xx		x	x		x		x
	430-490	xx	x	x	x	x				x
	490-560	xx	xx		x	x				xx
	560-590	xx	xx	x	x	x			xx	xx
	590-630	xx	x		x	x				xx
	630-780	xx	x	x	x	x			xx	x
IR-A	780-1400	xx	x		x				x	x
IR-B	1400-3000	xx			x					
IR-C	3000-10 <sup>6</sup>				x					

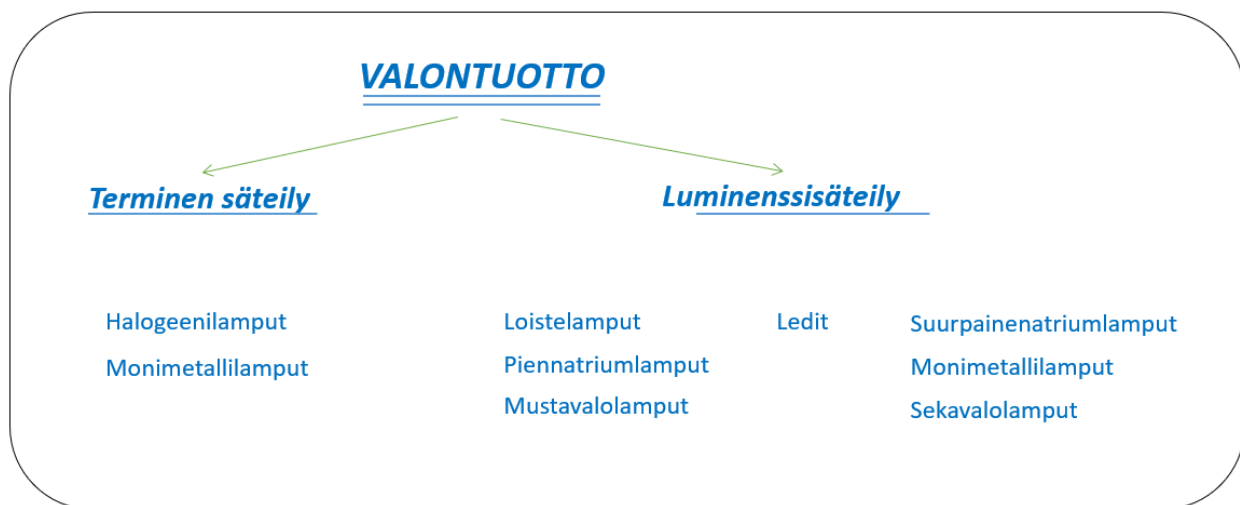
## Liite 5. Värilämpöasteikko mukaillen

(Limente n.d., mukaillen)



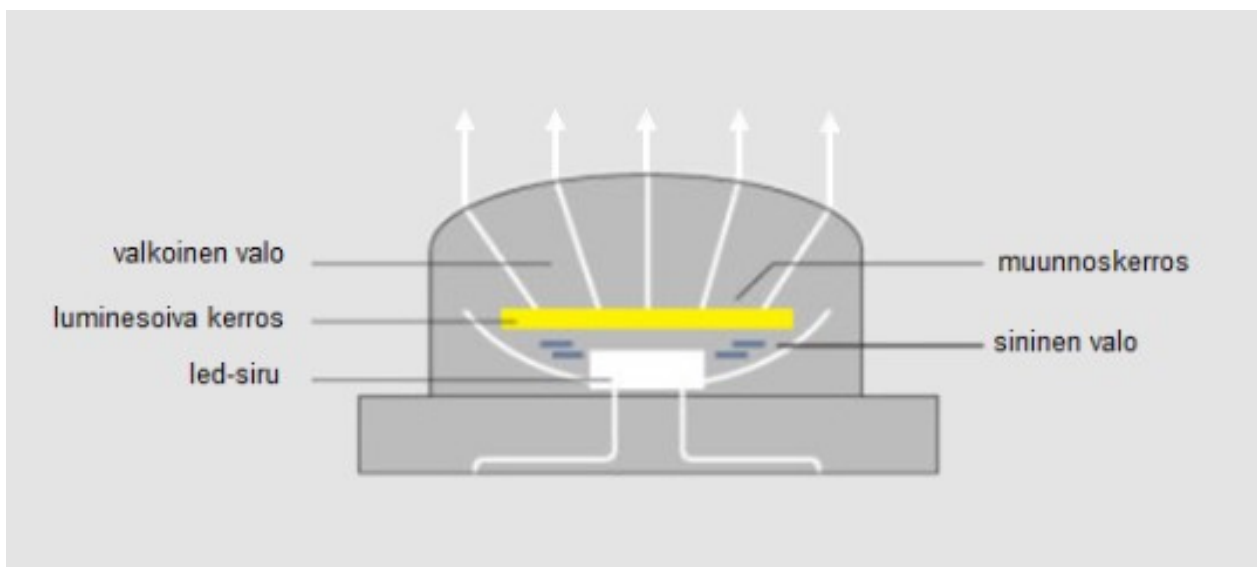
## Liite 6. Ultraviolettisäteilyn aallonpituudet

(Halonen ym. 1992, s. 158 mukailten)



## Liite 7. Ledin rakenne

(Ledvance 2020, muokattu)



## Liite 8. Materiaalien emissiokertoimia

(Infradex 2003, mukailten)

<b>Emissiivisyystaulukko</b>		
<b>Materiaali</b>	<b>Lämpötila ( °C)</b>	<b>Emissiivisyys</b>
Alumiini, hapettunut voimakkaasti	50-500	0,2-0,3
Alumiini, karkeapinta	20-50	0,06-0,07
Alumiini, kiillotettu	50-100	0,04-0,06
Betoni	20	0,92
Emali	20	0,9
Galvanoitu rauta, ohkolevy, hapettunut	20	0,28
Kuitulevy, kova, käsittelemätön	20	0,85
Kuitulevy, kovalevy	70	0,75
Kumi	20	0,95
Kupari, hapettunut, voimakkaasti	20	0,78
Kupari, kiillotettu, mekaanisesti	22	0,015
Laasti, kuiva	36	0,94
Lakka, tasainen	20	0,93

## Liite 9. Optisen säteilyn käyttökohteita talotekniikassa

<b>Talotekniikka</b>			
<b>Säteily</b>	<b>Aallonpituusalue, <math>\lambda</math> (nm)</b>	<b>Käyttökohde</b>	<b>Valonlähde</b>
<b>UV-C</b>	100-280	Veden desinfiointi	Matalapurkauslamppu Keskipainelamppu Led
<b>UV-B</b>	280-315		
<b>UV-A</b>	315-400	Veden desinfiointi	Keskipainelamppu Led
<b>Näkyvä valo</b>	400-430		
	430-490	Ilman ja pintojen desinfiointi	Fotonidesinfiointivalaisin (Led)
	490-560		
	560-590		
	590-630		
	630-780		
<b>IR-A</b>	780-1400	Lämmitys Kuivaus Lämpökuvaus	Lamppusäteilijä Kvartsiputkisäteilijä Lämpökamera
<b>IR-B</b>	1400-3000	Lämmitys Kuivaus	Kvartsiputkisäteilijä Metalliputki Kvartsitiili
<b>IR-C</b>	3000-10 <sup>6</sup>	Lämmitys Kuivaus Lämpökuvaus	Lasilevy Keraami Lämpökamera

## Liite 10. Optisen säteilyn käyttökohteita terveydenhuollossa

<b>Terveydenhuolto</b>			
<i>Säteily</i>	<i>Aallonpituusalue, λ (nm)</i>	<i>Käyttökohde</i>	<i>Valonlähde</i>
<i>UV-C</i>	100-280		
<i>UV-B</i>	280-315	UV-B-hoito	Loisteputki
<i>UV-A</i>	315-400	SUP-hoito UV-A1-hoito	Loisteputki Loisteputki tai monimetallilamppu
	400-430		
<i>Näkyvä valo</i>	430-490	Sinivalohoito	Sinivalolamppu tai optinen kuitumatto
	490-560		
	560-590		
	590-630		
	630-780	Punavalohoito	Led
<i>IR-A</i>	780-1400	Punavalohoito	Led
<i>IR-B</i>	1400-3000		
<i>IR-C</i>	3000-10 <sup>6</sup>	Infrapunasauna	Keraaminen tai metallinen infrapunalämmitin Matalalämpöiset lämmittimet



## Liite 11. Optisen säteilyn terveysvaikutuksia

## Haittavaikutukset

Säteily	Aallonpituusalue, $\lambda$ (nm)	Vaikutukset silmiin	Vaikutukset ihoon
UV-C	100-280	Sarveiskalvotulehdus Sidekalvontulehdus	Eryteema Ihosityöpä
UV-B	280-315	Sarveiskalvotulehdus Sidekalvontulehdus Kaihi	Eryteema Elastoosi Ihosityöpä
UV-A	315-400	Sarveiskalvotulehdus Sidekalvontulehdus Kaihi Valoperäinen verkkokalvovaurio	Eryteema Elastoosi Pigmenttiläiskät Ihosityöpä
Näkyvä valo	400-430	Valoperäinen verkkokalvovaurio	Palovamma
	430-490		
	490-560		
	560-590		
	590-630		
	630-780		
IR-A	780-1400	Kaihi Verkkokalvon palovamma	Palovamma
IR-B	1400-3000	Kaihi	Palovamma
IR-C	3000-10 <sup>6</sup>	Sarveiskalvon palovamma	Palovamma

## Liite 12. Optisen säteilyn aallonpituudet

Lyhytaaltainen UV-C	Keskiaaltainen UV-B	Pitkäaaltainen UV-A	Violetti	Sininen	Vihreä	Keltainen	Oranssi	Punainen	Lähi-IR-A	Keski-IR-B	Kauko-IR-C
100 - 280	280 - 315	315 - 400	380 - 430	430 - 490	490 - 560	560-590	590 - 630	630-780	100 - 280	280 - 315	315 - 400