

---

# Optisen säteilyn mittaus Karelia-Upofloor Oy:n tehtailla

---

Jukka Holopainen

Opinnäytetyö

Ammattikorkeakoulututkinto



Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Ympäristötekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Jukka Holopainen	
Työn nimi Optisen säteilyn mittaus Karelia-Upofloor Oy:n tehtailla	
Päiväys 15.11.2011	Sivumäärä/Liitteet 55 + 5
Ohjaaja(t) Yliopettaja Merja Tolvanen, pt. tuntiopettaja Teemu Räsänen	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Karelia-Upofloor Oy	
<p><b>Tiivistelmä</b></p> <p>Tämän työn aiheena oli selvittää optisen säteilyn määrät Karelia-Upofloor Oy:n Kuopion ja Tuupovaaran tehtaiden pintakäsittelylinjoilla. Tarve säteilymäärien selvitykselle on syntynyt vuonna 2010 voimaan astuneen Valtioneuvoston asetuksen 146 pohjalta. Asetus koskee työntekijöiden suojelemista optisen säteilyn vaaroilta työympäristössä. Karelia-Upofloor Oy oli todennut tarpeen säteilymäärien selvittämiseksi omilla työturvallisuuskartoituksissaan.</p> <p>Työssä arvioitiin mittaustarve ja tarvittava mittausmenetelmä standardin SFS-EN 14255-1 mukaisesti, jonka jälkeen suoritettiin käytännön mittaukset Kuopion ja Tuupovaaran tehtailla. Mittauskohteet olivat pintakäsittelylinjastoja, joissa käytetään ultraviolettisäteilyä tuottavia kuivausyksiköitä. Kuivausyksiköistä työympäristöön emittoituva säteilyn määrä ja spektrinen jakauma mitattiin spektroradiometrillä. Mittaustulosten perusteella laskettiin VNa:ssa määritellyt, spektrisesti painotetut säteilymäärät.</p> <p>Vertaamalla saatuja tuloksia VNa:n raja-arvoihin voitiin selvittää säteilymäärien haitallisuus työskentelyalueen eri pisteissä. Tämän opinnäytetyön pohjalta Karelia-Upofloor Oy pystyi arvioimaan tarvetta suojaustoimenpiteille pintakäsittelylinjoilla. Työn tuloksia voidaan käyttää myös osoittamaan viranomaisille, että VNa 146:n mukaiset selvitykset on toteutettu.</p>	
Avainsanat Optinen säteily, spektroradiometri, ultraviolettisäteily	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Environmental Technology			
Author(s) Jukka Holopainen			
Title of Thesis Measurement of Optical Radiation at Karelia Upofloor Oy Factories			
Date	15.November.2011	Pages/Appendices	55 + 5
Supervisor(s) Ms. Merja Tolvanen, Principal Lecturer, Mr. Teemu Räsänen, Lecturer			
Project/Partners Karelia-Upofloor Oy			
<p><b>Abstract</b></p> <p>The purpose of this thesis was to measure the amounts of optical radiation at Karelia-Upofloor Oy's factories in Kuopio and Tuupovaara. The need for measurements came up when the Council of State decree 146 concerning optical radiation entered into effect . The decree concerns safety hazards of optical radiation in the working environment. The need to measure the amounts of hazardous optical radiation at certain production processes came up from Karelia-Upofloor Oy's own work environment safety assessments.</p> <p>The need for measurements was assessed in accordance with Standard SFS-EN 14255-1. After that the measurements were carried out at the Kuopio and Tuupovaara factories. The measured targets were ultraviolet polymerization units which are used at surface finishing lines of hardwood floor production. Both the spectral distribution and amounts of optical radiation were needed in order to assess the harmfulness of the optical radiation. The chosen method of measuring was spectroradiometry and a scanning spectroradiometer was used to carry out the measurements.</p> <p>By comparing the results with the threshold values defined in the Council of State decree 146 it was possible to assess the harmfulness of the optical radiation at different points of the working environment. With the results of this thesis Karelia-Upofloor Oy was capable of assessing the need for protective measures at their surface finishing lines. The thesis can also be used as a certificate to authorities that the required actions of Council of State decree 146 have been carried out.</p>			
Keywords optical radiation, spectroradiometer, ultraviolet radiation			

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	6
2	KARELIA-UPOFLOOR OY .....	7
3	OPTINEN SÄTEILY .....	8
3.1	Ultraviolettisäteily .....	10
3.1.1	Luonnollinen ultraviolettisäteily .....	10
3.1.2	Keinotekoinen ultraviolettisäteily .....	11
3.2	Näkyvä valo .....	12
3.3	Infrapunasäteily .....	13
3.4	Radiometria .....	14
4	KEINOTEKOISEN UV-SÄTEILYN LÄHTEET .....	15
4.1	Lampputyypit .....	15
4.1.1	Loistelamput .....	15
4.1.2	Korkeapurkauslamput .....	16
4.1.3	Sekavalolamput .....	17
4.2	Solarium .....	17
4.3	Desinfiointi .....	18
4.4	Kovettaminen ja kuivaaminen .....	18
4.5	Hitsauksessa syntyvä UV-säteily .....	19
4.6	Muut säteilyn lähteet .....	20
5	ULTRAVIOLETTISÄTEILYN TERVEYDELLISET VAIKUTUKSET .....	21
5.1	Terveydelliset vaikutukset ihoon .....	21
5.1.1	Ihon rakenne ja optiset ominaisuudet .....	21
5.1.2	UV-säteilyn näkyvät vaikutukset .....	23
5.1.3	D-vitamiini .....	25
5.1.4	UV-säteilyn immunologiset vaikutukset .....	26
5.1.5	Ihosityöpä .....	27
5.2	Terveysvaikutukset silmille .....	27
5.3	UV-säteilyltä suojautuminen .....	29
6	OPTISTA SÄTEILYÄ KOSKEVA LAINSÄÄDÄNTÖ .....	30
7	MITTAUSKOHTEET .....	32
7.1	Kuopion tehdas .....	34
7.1.1	Lakkalinja .....	34
7.1.2	Öljylinja .....	36
7.1.3	Hiomalinja .....	38
7.2	Tuupovaara .....	40
7.2.1	Lakkalinja .....	40
7.2.2	Hiomalinja .....	42

8 MITTAUSJÄRJESTELYT .....	44
8.1 EU-ohjeistus .....	44
8.2 Mittauslaitteet .....	46
8.3 Mittausten toteutus .....	47
9 TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU .....	50
9.1 Tulosten laskenta .....	50
9.2 Tulokset.....	51
10 JOHTOPÄÄTÖKSET JA KEHITYSIDEAT .....	53
LÄHTEET.....	55

## LIITTEET

Liite 1 Kuopion tehtaan lakkalinjan mittaustulokset 8.6.2011

Liite 2 Kuopion tehtaan hiomalinjan mittaustulokset 8.6.2011

Liite 3 Kuopion tehtaan öljylinjan mittaustulokset 8.6.2011

Liite 4 Tuupovaaran tehtaan lakkalinjan mittaustulokset 29.6.2011

Liite 5 Tuupovaaran tehtaan hiomalinjan mittaustulokset 29.6.2011

# 1 JOHDANTO

Keinotekoisien optisten säteilyn lähteet ovat yleisiä teollisuuslaitoksissa ja monilla työpaikoilla. Optisen säteilyn terveysvaikutuksiin työympäristössä on alettu kiinnittää huomioita työturvallisuuden ja viihtyvyyden kannalta. Optisella säteilyllä tarkoitetaan sähkömagneettista säteilyä, joka voidaan jakaa ultraviolettisäteilyyn, näkyvään valoon ja infrapunasäteilyyn. Erityisesti ultraviolettisäteily aiheuttaa terveyshaittoja jo hyvin pienillä säteilytehoilla. Ultraviolettisäteilyn terveyshaittoihin kuuluu mm. ihon vaurioituminen, ihosyöpä ja harmaakaihi. Myös voimakas näkyvä valo voi aiheuttaa vaurioita silmiin, erityisesti lyhyillä aallonpituuksilla, joista käytetään nimitystä sininen valo. Infrapunasäteily, eli lämpösäteily, voi taas aiheuttaa lämpövaurioita ihoon ja silmiin.

Vuonna 2010 astui voimaan valtioneuvostonasetus 146, jossa määrätään työntekijöiden suojelemisesta optisen säteilyn vaaroilta. Asetuksessa on määrätty säteilymäärien selvittämisestä työpaikoilla, joilla on syytä epäillä esiintyvän voimakasta optista säteilyä. Asetuksessa on määritetty laskentamenetelmät ja raja-arvot eri säteilytyypeille. Raja-arvojen ylittyessä asetuksessa on määrätty torjuntaohjelman tekemistä, jonka tarkoituksena on estää raja-arvot ylittävä altistuminen säteilylle työympäristössä. Työn tilaajana toimiva Karelia Upofloor Oy on todennut työturvallisuus kartoituksissaan tarpeen säteilymäärien selvittämiseksi tiettyjen tuotantoprosessien työympäristöissä.

Tämän työn tavoitteena on selvittää Karelia-Upofloor Oy:n Kuopion ja Tuupovaaran tehtaiden pintakäsittelylinjojen kuivausprosessien tuottaman optisen säteilyn haitallisuus. Kuivausyksiköiden lamput tuottavat voimakasta ultraviolettisäteilyä ja näkyvää valoa, joka pääsee säteilemään ympäröivään työtilaan. Opinnäytetyö toteutetaan mittaamalla säteilymäärät ja säteilyn spektrinen jakauma työympäristössä. Saatuja mittaustuloksia verrataan valtioneuvostonasetuksessa esitettyihin raja-arvoihin ja pohditaan tarvetta suojaustoimenpiteille.

## 2 KARELIA-UPOFLOOR OY

Karelia-Upofloor Oy on Suomen johtava lattianpäällystevalmistaja, jonka päätuotteet ovat parketti- ja muovilattiapäällysteet. Parkettivalmistajana yhtiö on Euroopan suurimpia ja muovilattiapäällysteiden valmistajana Suomen ainoa. Karelia-Upofloor Oy muodostuu Karelia- ja Upofloor-parkettien tuotantoa ja markkinointia harjoittavasta emoyhtiöstä, Karelia-Upofloor Oy:stä, sekä sen kokonaan omistamista kolmesta tytäryhtiöstä. Tytäryhtiöitä ovat muovilattiapäällysteitä valmistava ja keraamisia laattoja sekä lasitiiliä maahantuova Upofloor Oy, Venäjän parkettitehdas LLC Karelia-Upofloor CIS sekä Romanian parkettitehdas S.C. Karelia-Upofloor S.R.L. Suomessa konsernilla on neljä tuotantolaitosta, jotka sijaitsevat Kuopiossa, Tuupovaarassa, Nokialla ja Ikaalisissa. Karelia-Upofloor Oy:n päämarkkinat ovat Pohjoismaissa, Keski- ja Itä-Euroopassa, Venäjällä sekä Yhdysvalloissa. Kansainvälisen jakeluverkoston avulla yhtymän tuotteita viedään noin 40 maahan. Konsernin liikevaihto vuonna 2009 oli 89,5 miljoonaa euroa ja henkilöstö vuoden lopussa 760. Tämä työ kohdistuu Karelia-Upofloor Oy:n Kuopion ja Tuupovaaran tehtaille, jotka ovat keskittyneet parketin valmistukseen. Kuopion parkettitehdas on esitetty kuvassa 1. [1]



Kuva 1 Karelia-Upofloor Oy:n Kuopion tehdas (Kuva: Karelia-Upofloor Oy 2008)

### 3 OPTINEN SÄTEILY

Optisella säteilyllä tarkoitetaan sähkömagneettisen spektrin osa-aluetta, joka muodostuu ultraviolettii- eli UV-säteilystä, näkyvästä valosta ja infrapuna- eli IR-säteilystä. Sähkömagneettinen säteily jaetaan ionisoivaan ja ionisoimattomaan säteilyyn. Optinen säteily on aina ionisoimatonta. Ihminen on altistunut optiselle säteilylle aina, sillä tärkein optisen säteilyn lähde on aurinko. Teknologinen kehitys on johtanut siihen, että 1800-luvun puolenvälin jälkeen on tullut käyttöön myös erilaisia keinotekoisia optisen säteilyn lähteitä. Optiselle säteilylle voi altistua lähes missä tahansa: kotona, työpaikoilla, luonnossa tai vaikka viihdetapahtumassa. Liiallisella optiselle säteilylle altistumisella on terveysvaikutuksia. Pahimmillaan vaikutukset voivat johtaa vakaviin kudosisaurioihin, esimerkiksi näön heikkenemiseen tai jopa sokeutumiseen voimakkaan lasersäteiden kohdistuessa silmään. Pitkäaikaisen UV-säteilyaltistuksen seurauksena voi kehittyä ihosyöpä. Optisen säteilyn terveysvaikutusten ymmärtäminen on tärkeää, jotta sitä voidaan käyttää turvallisesti. [2]

Ihmisen silmä aistii optisen säteilyn spektristä vain näkyvän valon aallonpituudet (400 nm – 780 nm). Silmä aistii näkyvän valon väreinä, jotka ovat violetti, sininen, vihreä, keltainen, oranssi ja punainen. Aallonpituuden ollessa 780 nanometristä yhteen millimetriin on kyseessä infrapunasäteily, jonka iho aistii lämpönä. Infrapunasäteilyä kutsutaan myös lämpösäteilyksi. Aallonpituudella 100 nm - 400 nm olevaa säteilyä kutsutaan ultraviolettisäteilyksi eli UV -säteilyksi. Ihminen ei pysty havaitsemaan UV-säteilyä suoraan. Pitkäaikainen altistuminen tietyille osalle UV-säteilystä aiheuttaa kuitenkin ihossa muutoksia, kuten punoitusta ja ruskettumista, joista säteilyn läsnäolo voidaan päätellä. Optisen säteilyn jakautuminen aallonpituuden mukaan, sekä sen vaikutuksia aallonpituudesta riippuen on esitetty taulukossa 1. [2]



Taulukko 1 Optisen säteilyn vaikutukset eri aallonpituuksilla [3]

Aallonpituus [nm]	Säteilyalue	Kohteena oleva elin	Vaurio
180-400	UV	silmä	fotokemiallinen vaurio ja lämpövaurion
180-400	UV	iho	eryteema
400-700	näkyvä	silmä	verkkokalvon vaurio
400-600	näkyvä	silmä	valokemiallinen vaurio
400-700	näkyvä	iho	lämpövaurio
700-1400	IRA	silmä	lämpövaurio
700-1400	IRA	iho	lämpövaurio
1400-2600	IRB	silmä	lämpövaurio
2600-10 <sup>6</sup>	IRC	silmä	lämpövaurio
1400-10 <sup>6</sup>	IRB,IRC	silmä	lämpövaurio
1400-10 <sup>6</sup>	IRB,IRC	iho	lämpövaurio

Optisella säteilyllä on sekä aalto- että hiukkasluonne. Tämä ominaisuus tunnetaan aalto-hiukkasdualismina. Optinen säteily etenee siis samanaikaisesti poikittaisena aaltoliikkeenä, sekä hiukkasvirtana, jonka muodostavat valokvantit eli fotonit. Fotonien energia kasvaa aallonpituuden lyhentyessä. Aaltoluonteesta johtuen optinen säteily taittuu ja heijastuu linssissä ja peleissä. Taittumista tapahtuu esimerkiksi silmän mykiössä sekä kameran linssisysteemissä. Optisen säteilyn hiukkasluonteella voidaan selittää optisen säteilyn imeytyminen, eli absorboituminen tiettyihin kemiallisiin ja biologisiin rakenteisiin. Fotonin aiheuttaessa muutoksia molekyyliissä, joihin se on osunut, puhutaan valo- eli fotokemiallisesta tai fotobiologisesta reaktiosta. Tällaisia reaktioita ovat esimerkiksi D-vitamiinin ja rusketuksen muodostuminen ihossa UV-B -säteilyn vaikutuksesta. Silmän verkkokalvolla tapahtuva näkyvän valon absorboituminen näköreseptorisoluihin on myös esimerkki tästä reaktiosta. [2]

Keinotekoiset optisen säteilyn lähteet voidaan jakaa koherentteihin ja epäkoherentteihin lähteisiin. Koherentilla lähteellä tarkoitetaan käytännössä lasereita ja epäkoherentilla muita säteilylähteitä, kuten erilaisia lamppeja. Optisen säteilyn lähteistä laser on erikoistapaus. Lasersäteily on yhtä tai vain muutamaa aallonpituutta sisältävää koherenttia, eli yhdensuuntaista ja samanvaiheista, säteilyä. Lasersäteily etenee kaapeana säteenä, jonka tehotiheys voi olla vaarallinen hyvinkin kaukana lähteestä. Epäkoherentti säteilylähde taas levittää säteilyä voimakkaasti eri suuntiin, jolloin sen energiatiheys pienenee nopeasti etäisyyden kasvaessa. Lasersäteily on erityisen vaarallista, koska sillä on mahdollista kohdistaa suuria säteilyenergioita hyvin pienen kudostilavuuteen erittäin lyhyessä ajassa. Lasersäteily ei tunkeudu syvälle ih-

miskehoon, vaan sen vaikutukset kohdistuvat ihoon ja silmän eri osiin. Silmään osuessaan pienitehoinenkin lasersäde voi olla hyvin vaarallinen, koska se pystyy fokuksitumaan verkkokalvolle asti vaurioitten sitä. [2]

### 3.1 Ultraviolettisäteily

UV-säteily on aallonpituusalueella 100 - 400 nm tapahtuvaa optista säteilyä. UV-säteily on jaettu kolmeen alaryhmään aallonpituuden mukaan: lyhytaaltoiseen UV-C -säteilyyn (100 - 280 nm), UV-B -säteilyyn (280 - 315 nm) sekä pitkäaaltoiseen UV-A -säteilyyn. Raja ionisoivan ja ionisoimattoman säteilyn välillä kulkee ionisoivan röntgensäteilyn (aallonpituus <100 nm) ja ionisoimattoman UV-säteilyn välissä (aallonpituus >100 nm). Molemmat pystyvät vaurioittamaan solujen perimäainesta eli DNA:ta, jonka seurauksena terve solu voi muuntua syöpäsoluksi. Erona röntgen- ja UV-säteilyn välillä on se, että suurienerginen röntgensäteily pystyy tunkeutumaan sisäelimiin asti, kun taas UV-säteilyn vaikutukset kohdistuvat silmiin ja ihoon muutaman millimetrin syvyyteen. [2]

#### 3.1.1 Luonnollinen ultraviolettisäteily

UV-säteily on osa ihmisen luonnollista elinympäristöä. Luonnollinen, auringonvalon sisältämä UV-säteily on välttämätöntä ihmisen terveydelle, mutta liiallinen altistuminen voi johtaa haitallisten vaikutusten syntymiseen. Ilmakehä vaimentaa auringon UV-säteilyä tehokkaasti, pääosin otsonin ansiosta. Otsoni on kolmesta happiatomista koostuva hapen epävaka muoto, jota esiintyy kaikkialla ilmakehässä. Suurimmat pitoisuudet otsonia löytyy 15 - 30 km:n korkeudella. Tätä väliä kutsutaan myös otsonikerrokseksi. Alailmakehässä otsonia esiintyy paljon vähemmän kuin otsonikerroksessa, mutta sillä on merkittävä vaikutus ilmanlaatuun ja se on myös merkittävä kasvihuonekaasu. Noin 90 % ilmakehän otsonista sijaitsee stratosfäärissä 10 - 40 km:n korkeudella. Loput kymmenen prosenttia sijaitsee troposfäärissä, alle kymmenen kilometrin korkeudella. Lyhytaaltainen UV-C -säteily ei läpäise otsonikerrosta ollenkaan ja UV-B -säteilystä suurin osa absorboituu otsoniin. Maanpinnalle tulevasta UV-säteilystä UV-B -säteilyä on vain 1 - 10 % ja loput 90 - 99 % on UV-A -säteilyä, jonka määrään otsonilla ei ole vaikutusta. Ihon palamisen ja muiden terveysvaikutusten kannalta UV-B -säteilyllä on kuitenkin suurin merkitys, koska niiden teho on aallonpituuden mukaan 100 - 1000 kertaa voimakkaampi kuin UV-A -säteiden. [7] [8]

Auringon UV-säteilystä maahan päätyvä määrä riippuu vuodenajasta, sijainnista ja kellonajasta. Kun aurinko paistaa matalalta, säteily joutuu kulkemaan huomattavasti paksumman ilmakerroksen läpi, kuin auringon ollessa suoraan päällä. Tällainen tilanne on esimerkiksi aamuisin, iltaisin ja talvella. Koska lyhytaaltoisimmat säteet siroavat eniten, UV-B ja UV-C -säteet jäävät ilmakehään, eikä niitä tule Suomessa maahan asti käytännössä ollenkaan kolmena pimeimpänä talvikuukautena. Mitä lähemmäs päiväntasaajaa liikutaan, sitä vähemmän merkitystä vuodenajalla on auringon säteilyn määrään. Säteilyn määrä on suurin keskipäivällä, kun aurinko on lähellä rantansa korkeinta pistettä. Silloin valonsäteiden ilmakehän läpi kulkema matka on lyhyimmillään. Säteilyn määrä riippuu sijainnista. Puoli tuntia Suomen keskikesän auringossa vastaa UV-B -säteilymäärältään 5 - 10 minuuttia Kanariansaarilla kesällä tai viittä minuuttia Sri Lankassa. [8]

Auringon UV-säteilyn määrää ja vaarallisuutta ilmaistaan yleisesti UV-indeksillä. Monissa maissa UV-indeksi ilmoitetaan säätiedotuksen yhteydessä ja sen merkityksestä on kerrottu suurelle yleisölle paljon. UV-indeksiin lasketaan mukaan 290, 350 ja 400 nm:n säteilyn painotettu voimakkuus. 290 nm:n painoarvo on 15, 350 nm:n painoarvo 5 ja 400 nm:n painoarvo on 3. Säteilyn voimakkuus lisääntyy aina 6 % noustessa kilometri ylöspäin. Pilvisuus vähentää arvoa 10 - 70 % ja lumi lisää sitä vähintään 80 %. Vuorokauden aika on myös merkittävä tekijä säteilyn voimakkuudessa. Esimerkiksi keskikesällä Helsingissä UV-indeksi on kirkkaana päivänä klo 13 - 14 noin kuusi ja aamupäivällä 9.30 noin kolme. UV-indeksin ollessa 0 - 2 on säteily heikkoa eikä tarvetta suojautumiselle ole. UV-indeksin ollessa välillä 3 - 5, säteily katsotaan kohtalaisen voimakkaaksi. Indeksillä 6 - 7 tarkoitetaan voimakasta, 8 - 10 hyvin voimakasta ja 11+ erittäin voimakasta säteilyä. Säteilyltä tulisi suojautua aina kun UV-indeksi nousee yli kolmen. [8]

### 3.1.2 Keinotekoinen ultravioletisäteily

Keinotekoisella ultravioletisäteilyllä tarkoitetaan ihmisen rakentamista laitteista syntyvää UV-säteilyä. Keinotekoisia UV-säteilyn lähteitä ovat esimerkiksi solariumlaitteet ja erilaiset teollisuudessa käytetyt UV-lamput. Ensimmäiset keinotekoiset UV-valoa tuottavat lamput kehitettiin jo vuonna 1893. Lamppuja kutsuttiin hiilikaarilampuiksi ja niitä käytettiin riisitaudin ja tuberkuloosin hoitoon. Näiden lamppujen pohjalta kehitettiin elohopeakvarsilamput jotka tuottivat paljon UV-B -säteilyä ja hieman UV-C -säteilyä. Nykyaikaiset solariumlamput eli matalapaine fluoresenssisäteilijät kehitettiin

vasta vuonna 1975 ja ne tuottavat pääasiassa UV-A -säteilyä ja hieman UV-B -säteilyä. [2]

Keinotekoinen ultraviolettisäteily käsitellään tarkemmin kappaleessa 4.

### 3.2 Näkyvä valo

Näkyvä valo on optista säteilyä, jonka aallonpituus on 400 - 780 nm. Näkyvän valon spektri jakautuu väreihin seuraavasti: violetti 400 - 450 nm, sininen 450 - 490 nm, vihreä 490 - 560 nm, keltainen 560 - 590 nm, oranssi 590 - 630 nm ja punainen 630 - 780 nm. Näkyvä valo on ainoa optisen säteilyn laji, jonka ihmissilmä pystyy aistimaan. Näkyvän valon aistiminen tapahtuu silmän verkkokalvolla, jossa on näkyvän valon aallonpituuksilla omat aistinreseptorinsa, tappi- ja sauvasolut. Sauvasolut aistivat valoa hämärissäkin oloissa mutta eivät osallistu värien näkemiseen. Tappisolut vastaavat värien erottamisesta, mutta ne eivät toimi hämärässä. Tappisoluja on kolme eri tyyppiä, viher-, sini- ja punaherkkiä. Ne reagoivat nimiensä mukaisesti eri aallonpituuksiin. Näkemiseen vaikuttaa näköreseptorien lisäksi aivojen tulkinta tilanteesta, jonka takia näkeminen on aina subjektiivista. [2]

Voimakas näkyvä valo ja erityisesti sen lyhyet aallonpituudet voivat vahingoittaa verkkokalvoa ja herkkiä aistinsoluja. Näkyvän valon lyhyiden aallonpituuksien sisältämillä fotoneilla on niin suuri energia, että ne voivat vaurioittaa verkkokalvoa suhteellisen helposti. Tavalliset valonlähteet, kuten lamput, sisältävät kaikkia valon aallonpituuksia. Voimakkaat valonlähteet, kuten TV-studioissa käytettävät tehokkaat valonheittimet, voivat sisältää haitallisia määriä näkyvän valon lyhyempiä aallonpituuksia. Erilaisissa hitsaustöissä syntyy myös erittäin kirkasta lyhytaaltoista näkyvää säteilyä. Tämän takia lyhytkin suojaamaton altistuminen hitsausvalokaaren näkyvälle valolle voi aiheuttaa verkkokalvovaurion. [2]

Näkyvä valo aiheuttaa vaurioita verkkokalvoon kahdella tavalla, lämpövaikutuksella ja aiheuttamalla fotokemiallisia muutoksia näkösoluissa. Lämpövaurioita tapahtuu verkkokalvolla, kun noin kymmenen mikrometrin paksuiseen pigmenttiepiteelikerrokseen absorboitunut säteilyenergia poistuu ympäristöönsä kuumentaen sitä. Vaurion sijainnilla on merkitystä koska tarkin näkemisen alue on verkkokalvon keskellä. Verkkokalvolle muodostuvan kuvan koko vaikuttaa myös lämpövaurion syntyyn. Ympäröivä kudokset pystyy jäädyttämään tehokkaammin pienemmästä kuvasta vapautuvan energian. [2]

Verkkokalvon fotokemiallisissa vaurioissa ei tapahdu merkittäviä kudoslämpötilojen nousua. Verkkokalvo vaurioituu erityisen helposti sinisen valon alueelle olevasta säteilystä. Tällä alle 500 nm aallonpituudella fotonien sisältämä energia on suurempi kuin pitkäaaltoisemman säteilyn. Verkkokalvo vaurioituu herkästi aina 400 nm asti, jota lyhyemmät aallonpituudet ovat UV-säteilyä, joka suodattuu osittain silmän ulomissa osissa. Fotokemiallisia vaurioita syntyy ainakin kahdella eri tavalla. Toisessa silmän sauva- ja tappisolujen fotopigmentin absorboidessa säteilyä fotoreseptorit vaurioituvat. Toisessa mekanismissa verkkokalvon pigmenttiepiteeli vaurioituu siellä olevien melaniinijyväsien absorboidessa valoa. Fotoreseptorien ja pigmenttiepiteelikerroksen aineenvaihdunnallinen yhteys on niin merkittävä, että vaurio kumpaankin tahansa solukerrokseen haittaa koko verkkokalvon toimintaa ja saattaa heikentää näköä. Näkyvän valon aiheuttama vaurio voi olla pysyvä tai tilapäinen. [2]

### 3.3 Infrapunasäteily

Infrapunasäteily on näkyvää valoa pitempiaaltoista optista säteilyä, jonka aallonpituusalue on 780 nanometristä yhteen millimetriin. Infrapunasäteily jaetaan kolmeen kaistaan kuten UV-säteilykin. Kaistat ovat IR-A -säteily (780 - 1400 nm), IR-B -säteily (1400 - 3000 nm) ja IR-C -säteily (3000 nm - 1 mm). Kaikki kappaleet säteilevät jonkin verran IR-säteilyä ja säteilyn aallonpituus riippuu kappaleen lämpötilasta. Mitä kuumempi säteilijä on, sitä lyhytaaltoisempaa sen lähettämä säteily on. Myös säteilyteho kasvaa lämpötilan kasvaessa. [2]

Koska IR-säteily on aallonpituudeltaan pidempää kuin UV-säteily tai näkyvä valo, on sen säteilykvanttien energiat pienempiä. IR-säteilyn absorboituessa kudokseen se aiheuttaa muutoksia atomien värähtelytiloissa, mikä johtaa kudoksen lämpenemiseen. IR-säteilyn aiheuttamat kudovauriot ovatkin kudosten liiallisesta lämpenemisestä johtuvia, eivätkä fotokemiallisia reaktioita. IR-A -säteily tunkeutuu muutaman millimetrin syvyydelle ihossa. Sen kudoksia lämmittävää vaikutusta käytetään hyödyksi esimerkiksi lihasten lämmittämiseen ja rentouttamiseen fysikaalisissa hoidoissa. Aallonpituuden kasvaessa vesimolekyylit alkavat absorboida IR -säteilyä voimakkaasti josta johtuen IR-B -aallonpituuksilla säteilyn tunkeutumissyvyys ihoon alkaa pienentyä. 5000nm aallonpituista IR-C säteilyä vesi absorboi jo todella tehokkaasti. Tämän takia IR -säteily pysähtyy tätä korkeammilla aallonpituuksilla ihon päänlimmäiseen kerrokseen, marrasketeen. [2]

Silmään IR -säteily tunkeutuu eri tavalla riippuen aallonpituudesta. Alle 1400 nm:n säteily etenee verkkokalvolle asti, kun taas alueelle 1400 - 1900nm IR -säteily absor-

boituu silmän etukammionesteeseen ja sarveiskalvoon. Yli 1900 nm IR-säteily absorboituu kokonaan sarveiskalvoon. Lyhytaaltoisen IR-säteilyn absorboituessa silmään voi aiheutua mykiön samentuma. [2]

### 3.4 Radiometria

Sähkömagneettisen säteilyn energian etenemistä, sen mittaamista ja siihen liittyvää teoriaa kutsutaan radiometriaksi. Optinen radiometria kattaa aallonpituudet 100nm – 1mm ja siinä säteilyn kulku voidaan kuvata geometrisella optiikalla. Säteily etenee suoraviivaisesti säteenä ja voi muuttaa suuntaansa heijastumalla tai taittumalla rajapinnassa. Radiometriassa ei huomioida taipumista eli diffraktiota, aaltojen yhteisvaikutusta eli interferenssiä tai aaltojen samenvaiheisuutta eli koherenssia. [2]

Radiometrian perussuureita ovat säteilyintensiteetti, radianssi ja irradianssi. Radiometrian perusteisiin kuuluu myös oleellisesti avaruuskulmat. Radiometrian suureet voidaan ilmoittaa spektrisinä, eli aallonpituudesta riippuvaisina, tai kokonaissuureena. Kokonaissuure saadaan integroimalla spektrin suuren aallonpituusalueen yli. Spektrisiä suureita tarvitaan, koska optisen säteilyn vaikutukset vaihtelevat suuresti aallonpituuden mukaan. Altistumislaskuissa eri aallonpituuksille käytetään yleensä eri kertoimia, koska tietyt aallonpituusalueet ovat haitallisempia kuin toiset. [2]

## 4 KEINOTEKOISEN UV-SÄTEILYN LÄHTEET

Keinotekoista UV-säteilyä käytetään monissa käyttötarkoituksissa, kuten esimerkiksi rahantunnistuksessa, desinfioinnissa, ihon ruskettamisessa ja teollisuuden prosesseissa. Myös sähköhitsausprosesseissa syntyy voimakasta lyhytaaltoista UV-säteilyä. Hitsaajat ovatkin suurin keinotekoisella UV-säteilylle altistuva ammattiryhmä. UV-säteilylamppujen spektrijakauma voidaan jakaa karkeasti kahteen eri alatyyppiin, viivaspektriin ja jatkuvaan spektriin. Viivaspektrissä säteily tapahtuu tietyillä aallonpituuksilla tai spektrin osilla. Jatkuvassa spektrissä puolestaan säteily tapahtuu kaikilla aallonpituuksilla tai laajalla aallonpituusalueella. [2]

### 4.1 Lampputyypit

UV-lamppuja on useita eri tyyppisiä. UV-lamppujen säteilyn tuotto perustuu lampun purkausputkessa tapahtuvaan kaasupurkaukseen, jossa sähköenergia muunnetaan UV-säteilyksi ja näkyväksi valoksi. Säteilyn tuotto ja teho riippuu putkessa vallitsevasta paineesta. Kaasupurkausputkia on korkea- ja matalapaineisia. Matalapurkauslamppuja käytetään tilanteissa, joissa UV-säteilyn ei tarvitse olla kovin voimakasta. UV-säteilyltään tehokkaat korkeapurkauslamput ovat yleensä erikoiskäyttöön suunniteltuja. Myös tavalliset hehku- ja halogeenilamput tuottavat jonkin verran UV-säteilyä. [2]

#### 4.1.1 Loistelamput

Loistelamput eli loisteputket ovat matalapaineisia kaasupurkauslamppuja. Niitä käytetään valaisimissa, solariumeissa, valohoitolaitteissa ja desinfiointitarkoituksissa. Loistelampuissa UV-säteily synnytetään fluoresenssiin perustuvalla ilmiöllä. Lampun sisäpinta on päällystetty fluoresoivalla loisteaineella. Purkausputkessa oleva täytekaasu on yleensä argonia, johon on lisätty pieni määrä elohopeaa. Lampussa synnytetävän sähköpurkauksen seurauksena elohopea höyrystyy ja alkaa säteillä suurienergistä UV-säteilyä, joka virittää lampun sisäpinnan loisteaineen. Loisteaineen viritystilan purkautuessa syntyy UV-säteilyn ja näkyvän valon aallonpituuksia, jotka läpäisevät loisteputken lasisen ulkopinnan. Erilaiset loisteaineet tuottavat eri määriä näkyvää valoa ja UV-säteilyä. Lampussa käytetty lasimateriaali vaikuttaa myös ulostulevaan säteilyyn. Esimerkiksi lyhytaaltainen UV-C-säteily ei läpäise normaalia lasia, vaan

absorboituu lampun sisäseinään. Esimerkiksi desinfiointiin tarkoitetuissa lyhytaaltoista UV-C-säteilyä emittoivissa loistelampuissa käytetään kvartsilasia, joka läpäisee lyhytaaltoista säteilyä paremmin kuin tavallinen lasi. Tällaisissa putkissa ei ole myöskään fluoresoivaa kerrosta, koska UV-C-säteily absorboituisi loisteaineeseen eikä pääsisi ulos lampusta. Loistelamppujen erikoissovelluksia ovat heijastinloistelamput ja mustavalolamput. Heijastinloistelamputta osa loisteputkesta on päällystetty heijastavalla aineella. Näin putken tuottamaa säteilyä saadaan suunnattua siten, että se poistuu vain sen pinnan osalta, jossa ei ole heijastinpintaa. Heijastinloisteputket ovat syrjäyttäneet tavalliset loisteputket solariumkäytössä, koska ne eivät tarvitse erillisiä heijastimia hyvän rusketustehon saavuttamiseksi. Mustavalolamppujen nimitys tulee niiden väristä. Lamppujen lasi on väriltään tumman violettia, lähes mustaa, erikoislasi. Lasi läpäisee UV-säteilyä mutta ei juuri lainkaan näkyvää valoa. Mustavalolamput tuottavat pääosin UV-A-säteilyä, joka osuessaan fluoresoiviin pintoihin tai materiaaleihin virittää kyseiset pinnat. Virityksen purkautuessa syntyy näkyvää valoa, joka havaitaan fluoresoivan pinnan loistamisena hämärässä. Samanlaista fluoresoivaa vaikutusta ei voida havaita tavallisilla UV-lampuilla, koska ne tuottavat liikaa näkyvää valoa, joka häiritsee fluoresenssin havaitsemista. mustavalolamppuja käytetään esimerkiksi tehostevaloina ja setelintunnistuksessa. [2]

#### 4.1.2 Korkeapurkauslamput

Korkeapaineisia korkeapurkauslamppuja ovat esimerkiksi elohopea-, ksenon-, monimetalli- ja sekavalolamput. Tällaisia lamppuja käytetään erikoiskäyttötarkoituksissa, joissa tarvitaan voimakasta UV-säteilyä. Elohopealamppujen toimintaperiaate on sama kuin loistelamppujen. Niiden tuottama UV-säteily perustuu siis kaasupurkaukseen elohopeahöyryä sisältävässä purkausputkessa. Elohopealampuissa käytetään lasimateriaalina kvartsilasia, joka läpäisee UV-säteilyä erittäin tehokkaasti, varsinkin lyhytaaltoisen säteilyn alueella. Monimetallilamput ovat kirkaskupuisia kaasupurkauslamppuja, joiden purkausputkessa on elohopean lisäksi muidenkin metallien jodideja. Korkeassa lämpötilassa tapahtuvassa purkauksessa jodidit hajoavat ja viritystilaan jääneet metalliatomit emittoivat säteilyä viritystilan purkautuessa. UV-monimetallilamppuja käytetään lähinnä solariumeissa loisteputkilaitteiden kasvotestimienä. Solariumkäytössä monimetallilampuissa täytyy olla suodattimet koska tämä lampputyypin tuottaa myös haitallisia määriä UV-B ja UV-C -säteilyä. [2]



### 4.1.3 Sekavalolamput

Sekavalolamppu tuottaa nimensä mukaisesti valoa usealla eri tavalla. Sekavalolamputta on polttimona suhteellisen pieni elohopeaa sisältävä purkausputki. Lamppu sisältää purkausputken lisäksi myös hehkulankakierukan, joka tuottaa osan lampun tuottamasta säteilystä. Elohopeapolttimo ja hehkulankakierukka sijaitsevat loisteaineella päällystetyssä kuvussa, jonka avulla polttimosta lähtevä UV-säteily muuntuu näkyväksi valoksi. Sekavalolamppuja voidaan käyttää rusketuksen hankkimiseen. Niitä käytetään lähinnä kattosolariumeissa ja ne tarvitsevat vain liiallisen UV-B -säteilyn leikkaavan suodattimen. Sekavalolamppuja käytetään myös suurten tilojen valaisuun. [2]

## 4.2 Solarium

Ultraviolettisäteilyä tuottavia solariumlaitteita käytetään ihon kosmeettiseen ruskettamiseen. Rakenteessa perusteella solariumlaitteet voidaan jakaa kokovartalon ruskettamiseen tarkoitettuihin akkusolariumeihin, kiinteästi kattoihin asennettaviin kattosolariumeihin ja kotisolariumeihin. Kotisolariumit ovat yleensä pienikokoisia ja tarkoitettu esimerkiksi vain kasvojen alueen ruskettamiseen. Solariumlaitteiden säteilyominaisuudet riippuvat laitteessa käytetyistä UV-lampuista ja niiden määrästä. Myös laitteen heijastinrakenteet ja mahdolliset suodattimet vaikuttavat säteilyominaisuuksiin.

Tavallisimmin käytetyt UV-säteilylähteet ovat erimittaiset UV-loisteputket eli UV-loistelamput ja monimetallilamput. Solariumlaitteissa voidaan käyttää myös heijastinloisteputkia joissa on UV-säteilyä lisäävä, heijastava pinta. Tällaisia laitteita kutsutaan myös reflektoriputkiksi. Reflektoriputkesta saadaan enemmän säteilyä kuin vastaavan tehoisesta loisteputkesta. Solariumlaitteiden UV-säteilyn määrää voidaan kasvattaa myös lisäämällä lamppujen taakse tai väliin alumiinilevyjä- tai kouruja jotka toimivat UV-säteilyä heijastavina peleinä. Loisteputkien suojana käytetään yleensä muovilevyä, joka vaimentaa suurimman osan UV-C -säteilystä, korkeintaan 30 prosenttia UV-B säteilystä ja alle kymmenen prosenttia UV-A -säteilystä.

Monimetallilamput eivät sovellu sellaisenaan solarium käyttöön, vaan niissä on käytettävä suodattimia. Suodattimilla poistetaan UV-C -säteily kokonaan ja vähennetään UV-B -säteilyn määrää. Sopivilla heijastimilla ja suodattimilla saadaan aikaan aurinгон UV-säteilyä muistuttava spektri. Solariumlamppujen spektri eroaa kuitenkin aurinгон spektristä siten, että ne tuottavat UV-A -säteilyä 5-10 kertaa enemmän kuin

aurinko. Solariumit ovat merkittävä ihon UV-altistumista lisäävä säteilylähde aurin-  
gon ohella. Nykyisen tietämyksen mukaan solariumilla ei ole terveyttä edistäviä vai-  
kutuksia. Solariumkäsitelyssä iholle tulee runsaasti UV-säteilyä, jonka terveyshaittoja  
ovat ihon palaminen, ennenaikainen vanheneminen ja ihosyöpäriskin kasvu. Sola-  
riumissa hankittu rusketus ei siis ole sen turvallisempaa kuin auringossa otettu ruske-  
tus. [2]

Keinotekoista UV-säteilyä tuottavia valonhoitolaitteita käytetään eräiden ihosairauksi-  
en, kuten atooppisen ihottuman ja psoriasiksen hoitoon. Valohoidot vaativat aina lää-  
kärinmääräyksen ja niissä käytettäviä laitteita saa käyttää vain tähän tehtävään mää-  
rättyt terveydenhuoltoalan ammattihenkilöt. Valonhoitolaiteiden UV-säteily riippuu käy-  
tettävistä lampuista, niiden lukumäärästä sekä laitteessa olevista heijastimista ja  
suodattimista. [2]

#### 4.3 Desinfiointi

UV-säteilyä voidaan käyttää pintojen ja veden mikrobien tuhoamiseen, eli desinfioin-  
tiin. UV-säteily tuhoaa tehokkaasti bakteerit, virukset, alkueläimet ja niiden kystat.  
Desinfiointiin sopiva UV-säteilyn alue on lyhytaaltoista UV-C -säteilyä. Tehokkain  
desinfiointivaikutus saavutetaan aallonpituusalueella 260 - 265 nm. Tällä alueella  
myös DNA:n säteilyabsorptio on korkeimmillaan. Desinfioinnissa käytetään yleensä  
matalapaineisia UV-C-elohopealamppuja, joiden säteilyenergiasta yli 90 % vapautuu  
254 nm:n aallonpituudella. Näitä lamppuja käytetään tyypillisesti työskentelyalueiden  
ja -välineiden sterilointiin sairaaloissa ja muissa suurta hygieniaa vaativissa tiloissa.  
[2]

#### 4.4 Kovettaminen ja kuivaaminen

UV-säteilyä käytetään monissa teollisuuden prosesseissa kovettamaan esimerkiksi  
maaleja, lakkoja, liimoja ja erilaisia pintakäsittelyaineita. Myös painotuotteiden kui-  
vaamiseen käytetään UV-säteilyä. Liimojen ja muovien kovettaminen voidaan tehdä  
UV-A -lähteillä, jolloin säteilyannos on suhteellisen pieni. Painotuotteiden kuivaami-  
sessa, sekä maalin ja lakkojen kovettamisessa, käytetään usein suuritehoisia lamp-  
puja, jotka tuottavat myös UV-C ja UV-B -säteilyä. Normaalisti teollisuudessa tällaiset  
lamput suojataan, niin että laitteiston käyttäjät ei altistu säteilylle. [2]

Ultraviolettisäteilyllä tapahtuvaa kovettamista kutsutaan myös UV-polymeroinniksi. Siinä UV-lampun tuottama UV-säteily absorboituu polymeerin säteilyherkkään kovetinaineeseen ja käynnistää materiaalin kovettumisprosessin. Kovettumisnopeus riippuu kovetettavan aineen kemiallisesta rakenteesta, kovetettavan kerroksen paksuudesta sekä UV-säteilyn tehosta pinta-alaa kohti. Kemialliseen rakenteeseen vaikuttaa kovetusaineen laatu ja määrä, erilaiset pigmentit sekä lisäaineet. Kerrospaksuudella on suuri vaikutus kovetusprosessia koska UV-säteilyn määrä laskee eksponentiaalisesti suhteessa syvyyteen. Kerrospaksuuden kaksinkertaistuminen vaatii noin kymmenkertaisen UV-säteilyn tehon. UV-säteilyn tehon nosto lisää kovetusnopeutta. Tehon kaksinkertaistaminen voi parhaillaan leikata kovettumisajan kymmenesosaan alkuperäisestä. [9]

#### 4.5 Hitsauksessa syntyvä UV-säteily

UV-säteilyä ei käytetä hyväksi hitsausprosesseissa, mutta sitä vapautuu suuria määriä sähköhitsausmenetelmissä. Erilaisia sähköhitsausmenetelmiä ovat TIG- (tungsten inert gas), MAG- (metal active gas) ja MIG- (metal inert gas) sekä puikkohitsaus. Sähköhitsausmenetelmissä hitsattavan kappaleen ja käytettävän lisäainelangan välille tuotetaan voimakas virtapiiri sähkövirran avulla. Piiri sulkeutuu langan osuessa hitsauskohteeseen ja syntyy valokaari joka sulattaa langan ja hitsauskohdan hitsisulaksi. Hitsisulan jähmettyessä hitsattavat materiaalit kiinnittyvät toisiinsa. Sähköhitsauksessa käytetään apuna suojakaasua, jonka tärkein tehtävä on syrjäyttää ilman happi hitsauskohdan ympäriltä. Näin vältytään hitsattavan sauman hapettumiselta. Yleisimpiä kaasuja ovat hiilidioksidi, argon, helium ja näiden seokset. [2]

Hitsauksessa syntyvä valokaari synnyttää voimakasta hitsaussäteilyä eli kirkasta näkyvää valoa ja UV-säteilyä. Sähköhitsauksessa syntyvän UV-säteilyn määrään vaikuttaa käytettävä suojakaasu, lisäainelanka, hitsattava materiaali, valokaarityyppi, hitsausvirta, kaarijännite sekä hitsauksen aikana syntyvät heijastukset. Hitsattavalla materiaalilla on suuri vaikutus säteilyn määrään. Esimerkiksi alumiinihitsauksessa syntyvä UV-säteily on huomattavasti voimakkaampaa kuin seostamattoman teräksen hitsauksessa syntyvä. Suurimmat UV-säteilyn tehotiheydet esiintyvät 250 – 350 nm alueella. Hitsauksessa mitattujen UV-säteilyn tehotiheyksien perusteella lasketut suurimmat sallitut suojaamattomat altistumisajat vaihtelevat 0,2 sekunnista 10 sekuntiin puolen metrin etäisyydeltä mitattuna. [2]

#### 4.6 Muut säteilyn lähteet

Keinotekoisella UV-säteilyllä on edellä mainittujen lisäksi useita erilaisia käyttösovelluksia. UV-säteilyä käytetään muun muassa filmien ja painopiirien valottamiseen, hyönteisten houkutteluun, erilaisiin valotehosteisiin sekä fluoresenssiin perustuviin analyyseihin. Myös monet fotobiologit ja fotokemistit käyttävät tutkimuksissaan erilaisia UV-säteilylähteitä. Kaikkia yhdistävä tekijä on UV-säteilyn aiheuttamat terveysriskit. UV-laitteen lampun tyyppi ja laitteen rakenne antaa viitteitä laitteeseen liittyvistä säteilyriskeistä, mutta koska muuttujia on lukemattomia, täytyy suojautumistarve arvioida aina tapauskohtaisesti. [2]

## 5 ULTRAVIOLETTISÄTEILYN TERVEYDELLISET VAIKUTUKSET

Ultravioletisäteilyllä on sekä hyödyllisiä että haitallisia terveydellisiä vaikutuksia ihmiskehoon. UV-säteily osallistuu muun muassa ihmisen elimistön D-vitamiinin tuotantoon iholla ja on siksi välttämätöntä terveenä pysymisen kannalta. Liiallinen UV-säteily kuitenkin aiheuttaa ihosyöpää mutta samanaikaisesti se suojaa toisilta syöpätyypeiltä. UV-säteily myös polttaa ja vanhentaa ihoa, aiheuttaa silmän kaihia ja sillä on useita terveysvaikutuksia joista kaikkia ei vielä täysin tunneta. Tämän takia liialliselta UV-säteilyltä suojautuminen on tärkeää. [4]

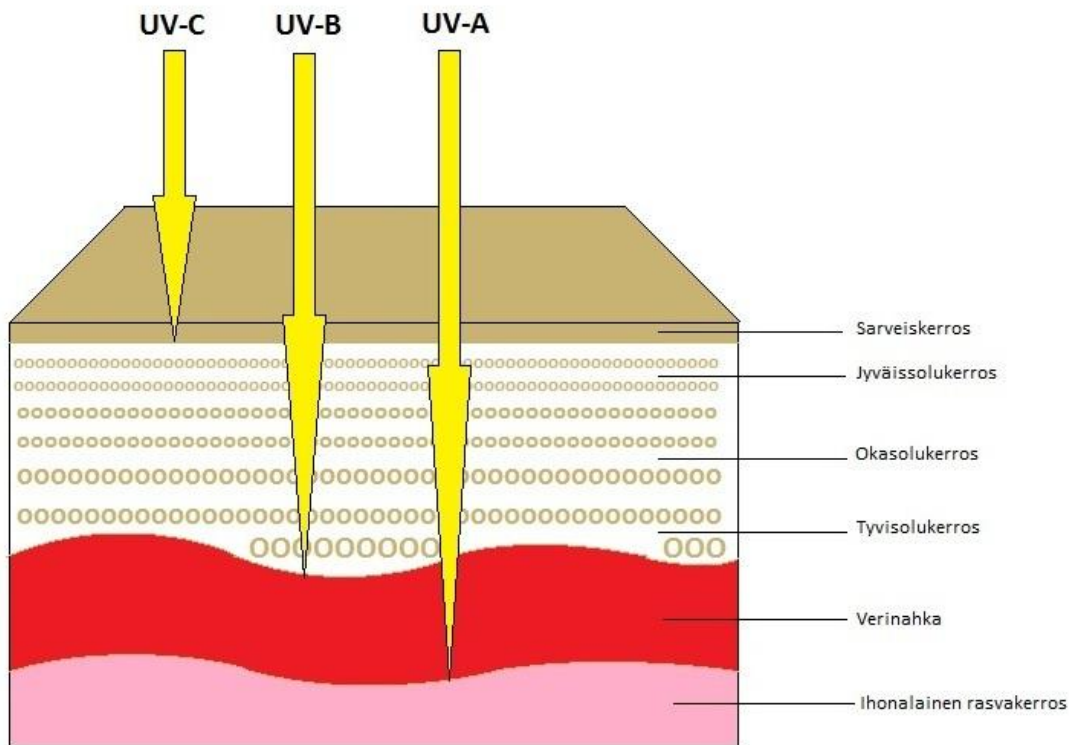
### 5.1 Terveydelliset vaikutukset ihoon

Liiallinen UV-säteily vanhentaa ihoa ennenaikaisesti, muuttaen sen kuivaksi ja karheaksi ja aiheuttaen värimuutoksia. Pahimmillaan liiallinen UV-säteily aiheuttaa pysyviä solumuutoksia ja ihosyöpää. Iho voi myös palaa liiallisesta altistumisesta. Iho ei unohda saamaansa UV-säteilyä vaan sen vaikutukset kertyvät ihoon koko eliniän ajan. Tämän takia UV-säteilyä tulee välttää ja suojautua siltä myös silloin kun välitöntä palamisvaaraa ei ole. [5]

#### 5.1.1 Ihon rakenne ja optiset ominaisuudet

Ihmisen iho koostuu kahdesta kerroksesta. Pintakerros on 50 - 150 µm paksu orvaskesi eli epidermis ja alempi kerros 1 - 4 mm paksu verinahka, eli dermis. Orvaskeden pinnassa on 8 - 20 µm paksu sarveiskerros, eli marraskesi, joka muodostuu kuolleista sarveissoluista. Verinahan alla on vaihtelevan paksuinen ihonalaiskerros, subkutis, jossa on muun muassa rasvakudosta. Orvaskesi koostuu tiiviisti toisiinsa liittyneistä keratiinipitoisista sarveissoluista, eli keratinosyyteistä. Orvaskedessa on myös melanosyyttejä ja Langerhansin soluja. Keratinosyyttejä syntyy jatkuvasti tyvisolujen jakautuessa tyvisolukerroksessa. Pintaa lähestyessä keratinosyytit kuolevat ja niistä muodostuu marraskesi, josta solut hilseilevät hitaasti irti. Verinahkassa on paljon verisuonia ja se muodostuu pääasiassa sidekudoksesta, jossa on runsaasti proteiineja, kuten kollageenia ja elastiinia. Verinahkan hiusverisuonet huolehtivat ihon ravinto- ja kuona-aineiden kuljetuksesta sekä lämmönsäätelystä. UV-säteilyn tunkeutumiskyky ihon eri kerroksiin on riippuvainen säteilyn aallonpituudesta. UV-C -säteily absorboituu täysin ihon sarveiskerrokseen. Suurin osa UV-B -säteilystä absorboituu orvaske-

teen, vain noin 5% tunkeutuu verinahkaan asti. UV-A -säteilystä noin puolet tavoittaa verinahan yläkerrokset. Ihon eri kerrokset ja UV-säteilyn ihon läpäisykyky on havainnollistettu kuvassa 2. [2]



Kuva 2 Ihon rakenne ja UV-säteilyn läpäisykyky (Kuva: Jukka Holopainen 2011)

Optisen säteilyn vuorovaikutuksia ihossa ovat suora läpäisy, siroaminen, heijastuminen sekä absorboituminen. Valtaosa säteilystä siroaa osuessaan ihon pintaan eli marrasketeen. Koska kuolleen ja kuivettuneen solukon rakenne on löyhä, siinä on paljon sirottavaa rajapintaa. Marraskeden alla olevaan orvasketeen päätyvästä säteilystä vain noin 5 % on siroutumatonta, suoraa säteilyä. Orvaskesi on suurelta osin vesipitoista solukkoa, jossa on vähän sirontaa aiheuttavia tekijöitä. Tämän takia UV-säteily etenee orvaskedessä pääosin suorana läpäisynä. Absorptio on biologisesti merkittävin vuorovaikutustekijä, koska vain absorboituneet fotonit aiheuttavat fotokeemiallisia muutoksia. UV-C ja UV-B -aallonpituudet absorboituvat ihon proteiineihin, melaniini-pigmenttiin, urokaanihappoon sekä DNA:han. Alle 220 nm UV-C -säteily absorboituu pääasiassa proteiinien peptidisidoksiin. DNA:n nukleiinihappojen absorptiohuippu on noin 260 nm ja urokaanihapon noin 260 - 280 nm, riippuen pH:sta. Melaniini absorboi UV-säteilyä voimakkaasti välillä 300 - 370 nm. Tämä selittää melaniinipigmentin, eli ruskean ihonvärin, suojavaikutuksen UV-B ja UV-A -säteilyiden

haittavaikutuksia vastaan. Runsaasti melamiinia sisältävä iho näyttää tummalta, koska melamiini absorboi jonkin verran näkyvän valon aallonpituuksia. Orvaskesi läpäisee hyvin optista säteilyä välillä 300 - 1300 nm. Tämän takia noin 5 % UV-B -säteilystä ja 50 % UV-A -säteilystä pääsee tunkeutumaan verinahan puolelle. [2]

Ihmiset voidaan jakaa kuuteen eri ihotyyppiin ruskettumattoman ihonvärinsä, ruskettumistaipumustensa sekä palamisherkkyytensä mukaan. Eri ihotyypit on esitetty taulukossa 2. Tyyppiin I kuuluvat ovat usein punatukkaisia, pisamaisia ja palavat aurinkossa hyvin nopeasti eivätkä rusketu ollenkaan. Tyyppiin II ihotyypin omaavat ovat vaaleatukkaisia, sini- tai vihersilmäisiä ja he palavat helposti ja ruskettuvat vain hieman. Näillä kahdella ihotyypillä on suurin riski sairastua melanoomaan. Alle 15-vuotiaiden lasten iho ei tuota pigmenttiä samalla tavalla kuin aikuisen iho, joten heidät luokitellaan ihotyyppiin I. Ihotyyppiin III kuuluvilla on ruskeat tai harmaat silmät ja ruskeat tai tumman vaaleat hiukset. He palavat kohtalaisen helposti ja ruskettuvat vähitellen. Tyyppiin IV kuuluvilla on yleensä ruskeat silmät ja tummanruskeat hiukset. He palavat harvoin ja ruskettuvat hyvin. Ihotyyppiin V ja VI kuuluvat ovat luonnostaan tummaihoisia ja sietävät aurinkoa. Tyyppiin V ihmisillä on ruskea iho ja musta tukka, esimerkiksi pohjoisafrikkalaiset ja intialaiset kuuluvat tähän tyyppiin. Tyyppiin VI ihmiset ovat iholtaan ja hiuksiltaan mustia ja ovat pääasiassa afrikkalaisia. Näillä ihotyypeillä ihosyöpä on harvinainen. [2][6]

Taulukko 2 Ihotyypit [6]

Ihotyyppi	palaa	ruskettuu
I	kyllä	ei
II	kyllä	joskus
III	joskus	kyllä
IV	ei	kyllä
V	luonnostaan ruskea iho	
Vi	luonnostaan ruskea iho	

### 5.1.2 UV-säteilyn näkyvät vaikutukset

Yleisin UV-säteilyn aiheuttama näkyvä muutos iholla on rusketus. Rusketuksessa UV-säteily vaikuttaa melanosyytteihin, ihon väriainetta muodostaviin soluihin. Rusketus on ihon suojakeino, joka pyrkii suojaamaan ihon syvempiä kerroksia UV-säteilyltä. UV-A -säteily ruskettaa olemassa olevaa pigmenttiä ja UV-B -säteily saa aikaan ihon

pintasolukon lisääntymistä. Pintasolukon lisääntyminen aiheuttaa ihon paksunemista ja uuden pigmentin muodostumista iholla. Näkyvän ruskean värin saa aikaan melanosyyttien tuottama melaniini. Melaniini on suuri levymäinen molekyyli, joka absorboi voimakkaasti UV-säteilyä aallonpituusvälillä 300 - 370nm. Melaniini absorboi suuren osan UV-säteilystä joka absorboituisi muuten ihosolujen DNA:han tai ihon proteiineihin aiheuttaen niihin vaurioita. [5][2]

Ruskettuminen voidaan jakaa välittömään ja viivästyneeseen rusketukseen. Välittömässä rusketuksessa ihossa valmiina oleva melaniini tummuu UV-A-säteilyn hapettaessa sen. Luonnostaan ruskea iho, jossa on enemmän melaniinia, ruskettuu tämän takia nopeammin. Välitön rusketus tulee näkyväksi 5 - 10 minuutin kuluttua UV-A -altistumisen alkamisesta. Välitön rusketus häviää myös nopeasti, yleensä tunneissa. UV-A -altistumisen ollessa voimakasta ja pitkäkestoista, välitön rusketus saattaa kestää useita päiviä. Viivästynyt rusketus syntyy pääasiassa UV-B -säteilyn vaikutuksesta. Melanosyyttien koko ja määrä kasvaa jonka seurauksena ne alkavat tuottaa suurempia määriä melaniinipigmenttiä. Uusi ruskea pigmentti näkyy iholla vasta päivien kuluttua UV-altistumisesta jonka takia tätä rusketustyyppiä kutsutaan viivästyneeksi rusketukseksi. Viivästynyt rusketus kestää iholla useista viikoista kuukausiin. [2]

Rusketus ei suojaa ihoa erityisen hyvin UV-säteilyn haitoilta. Sen suoja vastaa luonnostaan vaaleassa ihossa aurinkovoiteen suojakerrointa 1,5 - 4. Tutkimukset ovat osoittaneet, että hyvin ruskettuvan ihon suojavaikutus ei perustu pelkästään suurempaan melaniinimäärään, vaan ihon luontainen väri ja ruskettumiskapasiteetti kuvaa myös ihon kykyä korjata UV-säteilyn aiheuttamia soluvaurioita. Ruskettumisen lisäksi tärkeä ihon suojamekanismi on hyperkeratoosi, eli sarveiskerroksen paksuuntuminen. Hyperkeratoosissa orvaskeden solujen jakaantuminen kiihtyy UV-säteilyn vaikutuksesta ja paksuuntunut sarveiskerros pidentää UV-säteilyn kulkemaa matkaa ihossa. Ihon paksuuntuminen ei riipu ruskettumiskyvystä tai ihon ruskettumattomasta väristä ja se muodostaa pääasiallisen suojamekanismin luontaisesti vaaleille ihotyypeille. Hyperkeratoosi on hidas prosessi, joka tapahtuu hitaasti päivien ja viikkojen aikana, UV-altistuksen jatkuessa pidempään. [2]

UV-altistuksen ollessa liian voimakasta tai pitkäkestoista iho rupeaa punottamaan, eli palaa. Ihon palamisen mekanismi ei ole täysin tunnettu. Ihossa tapahtuu mikroskooppisia muutoksia orvaskeden soluissa jo puolella siitä säteilymäärästä, joka aiheuttaa silmin havaittavan punoituksen. Ihon punoittaminen on yleensä voimakkaimmillaan vuorokauden kuluttua palamisesta, pahoissa tapauksissa kahden vuorokauden kuluttua. Palanut iho on arka ja herkkä kuumalle. Palamisen aste voidaan jakaa



neljään luokkaan oireiden vakavuuden mukaan. Palamisluokat on esitetty taulukossa 3. I asteen palamisen merkit häviävät 2 - 4 vuorokaudessa ja iho hilseilee näkyvästi parin viikon kuluttua. II asteen palamisen jälkeen punotus kestää 2 - 5 vuorokautta. III ja IV asteen palamisen jälkeen iho ei palaudu välttämättä koskaan ja voi olla herkkä vielä vuosienkin jälkeen. [8]

Taulukko 3 Ihon palamisasteet [10]

Palamisen aste	Mikroskooppiset muutokset ihossa ja muut huomiot
Ei punoitusta	Kudosleikkeissä näkyy vaalea rengas okasolujen tumien ympärillä. Kuolleita okasoluja, ns. auringonpolttamasoluja on harvakseltaan
I, Punoitus	Orvaskedessä on kuolleita auringonpolttamasoluja ja verinahahan yläosassa tulehdusmuutoksia. Iho hilseilee parin viikon kuluttua
II, Punoitus + pieniä rakkuloita	Orvaskedessä on runsaasti kuolleita soluja. Verinahassa on tulehdusmuutoksia kauttaaltaan. Voimakas hilseily kestää muutaman viikon ajan.
III, punoitus + suuria rakkuloita	Orvaskeden yläosa on kuoliassa. Voimakas tulehdus verinahassa. Iho hilseilee levyinä. Jättää parantuessaan arpia.
IV, Ihon pinta-osa kuoliassa	Koko orvaskesi on kuoliassa. Voimakas tulehdus ulottuu rasvakudokseen saakka. Jättää pahoja arpia. Vaatii joskus ihonsiirron.

Ihon näkyviä muutoksia ovat myös erilaiset valoihottumat ja UV-säteilystä pahentuvat ihottumat, joista kärsii esimerkiksi jopa 20 prosenttia suomalaisista. Valoherkkyttä esiintyy pääasiassa pohjoisessa, koska aurinkoisemmissa maissa valoherkät yksilöt eivät ole menestyneet mutta pohjoisessa herkkydestä ei ole juuri haittaa. UV-säteilyn aiheuttamia valoihottumia ovat esimerkiksi monimuotoinen valoihottuma eli MMVI, valonokkosihottuma, valoekseema, krooninen aktiivinen dermatiitti sekä ruutaja putkikasvien aiheuttama valoherkistymä fytofotodermatiitti. UV-säteily pahentaa myös eräitä ihottumia, vaikka ei toimikaan niiden aiheuttajana. Tällaisia ihottumia ovat esimerkiksi ruusufinni, tavallinen akne, punahukka, herpes ja harvinainen xeroderma pigmentosum eli XP. [8]

### 5.1.3 D-vitamiini

D-vitamiini on hormoni, joka on kolesterolin johdannainen. D3-vitamiinia eli kolekalsiferolia muodostuu ihossa UV-B -säteilyn vaikutuksesta. UV-B säteily katkaisee kolesterolimolekyylistä yhden sidoksen ja se muuttuu orvaskeden fotokemiallisessa reak-

tiossa D3-vitamiiniksi. Elimistö tarvitsee D-vitamiinia kalsiumin imeytymiseen ohutsuolessa. Elimistön täytyy muokata UV-säteilyn iholla muodostama D3-vitamiini ensin maksassa ja sitten munuaisissa, koska se ei sellaisenaan ole bioaktiivisessa muodossa. Sama maksassa ja munuaisissa tapahtuva bioaktivointi tapahtuu myös ravinnosta saadulle D-vitamiinille. D-vitamiinin puutostila aiheuttaa luuston heikkenemistä ja lapsilla riisitautia. Riisitautiin liittyy luiden haurastuminen, infektioalttius ja kasvuhäiriöt. Aikuisilla vastaavaa D-vitamiinin puutostilaa kutsutaan osteomalasiaksi. Iholla muodostunut D3-vitamiini on myös erittäin valoherkkää. Aurinkoaltistuksen jatkuessa D3-vitamiini alkaa hajota epäaktiivisiksi aineenvaihduntatuotteiksi. Tämän takia UV-säteily ei pysty aiheuttamaan rasvaliukoisen D-vitamiinin liiallista kertymistä elimistöön, eikä yliannostuksen vaaraa ole. Hyvin tummassa ihossa syntyy vähemmän D-vitamiinia, koska UV-B -säteily absorboituu ihon pigmenttiaineeseen, melaniiniin. [2]

Vaaleaihoinen ihminen saa Suomessa kesäaikaan riittävän annoksen D-vitamiinia jo 15 minuutin aurinkoannoksesta kasvoille ja käsille, 3 - 4 kertaa viikossa. Aurinkoisena aikana muodostunut D-vitamiini varastoituu kehon rasvakudoksiin. Nämä varastot eivät kuitenkaan riitä talven yli, jolloin luonnollisen UV-säteilyn määrä on olematonta suomen leveysasteilla. Talvella ravinnon merkitys D-vitamiinin lähteenä korostuu ja D-vitamiinin riittävä saanti tulee turvata maitoa ja kalaa sisältävällä ruokavaliolla tai D-vitamiinilisävalmisteilla. [2]

#### 5.1.4 UV-säteilyn immunologiset vaikutukset

UV-säteily alentaa elimistön vastustuskykyä. Erityisesti elimistön immunologisen puolustusjärjestelmän vastustuskyky heikkenee sellaisilla UV-säteilyn määrillä jotka aiheuttavat ihon punoitusta. UV-säteilyn aiheuttamaa vastustuskyvyn laskua kutsutaan immunosuppressioksi ja sen vaikutukset voivat jatkua useita viikkoja altistumisen loppumisen jälkeen. UV-säteilyn havaittiin heikentävän immuunipuolustusjärjestelmää jo 1970-luvulla tehdyissä hiirikokeissa. Näissä kokeissa hiiriin siirrettiin ihokasvain soluja ja hiiret altistettiin UV-säteilylle. Havaittiin, että altistuminen jo suhteellisen pienelle UV-säteily määrälle mahdollisti siirrettyjen ihosyöpäsolujen kasvun vastaanottajahiiren iholla. Ilman UV-altistusta terveen hiiren elimistö pystyi torjumaan toisesta hiirestä peräisin olevia syöpäsoluja. Kokeilla on pystytty osoittamaan, että samat immunosuppression lainalaisuudet pätevät myös ihmisillä. UV-säteily vaimentaa ihmisen vastustuskykyä virus-, bakteri-, ja sieni-infektioita vastaan. Käytännössä vaikutukset ovat lähes merkityksettömiä. Ainoastaan herpes simplex -infektion uusiutumisen on havaittu olevan yhteydessä auringon valolle altistumisen kanssa. [2]

### 5.1.5 Ihosyöpä

UV-säteily on merkittävä ihosyöpien aiheuttaja. UV-säteilyn ja ihosyövän välinen suhde on monimutkainen ja UV-altistuksen ajoituksella, määrällä ja intensiteetillä on erilaiset merkitykset eri ihosyöpien synnyssä. Väestötasoisesta tutkimuksesta on saatu merkittävää näyttöä UV-säteilyn ja ihosyövän välisestä riippuvuussuhteesta. Vaaleat ihotyypit ovat alttiimpia ihosyövälle kuin tummat. Huonosti ruskettuva, herkästi palava iho on erityisen riskialtis ihosyövälle. [2]

Ihosyöpiä on kolme päätyyppiä: melanooma, tyvisolusyöpä ja okasolusyöpä. UV-altistuksen haitallisuuden muoto vaihtelee eri ihosyöpien välillä. Melanooman ja tyvisolusyövän riskiä suurentavat erityisesti suuret UV-säteilyn kerta-annokset. Okasolusyövän kannalta merkittävin tekijä on UV-säteilyn kokonaismäärä. Melanomalle ja tyvisolusyövälle altistaa myös lapsena tapahtuneet suurten kerta-altistusten aiheuttamat ihon palamiset. Okasolusyövän kannalta on merkittävämpää pitkän ajan kuluessa kertynyt UV-altistus, joka ei edellytä palamista. Eri ihosyöpätyyppien välillä on kuitenkin alatyyppejä, joissa on eroja altistumismuotojen vaikutuksessa. Yhden ihosyövän sairastaneella ihmisellä on suurentunut riski saada toinen, joko samaa tai erityyppiä oleva ihosyöpä. UV-säteilyn aiheuttamat ihomuutokset lisäävät myös ihosyövän riskiä. UV-säteily altistaa ihosyöpien lisäksi huulisyövälle. [2]

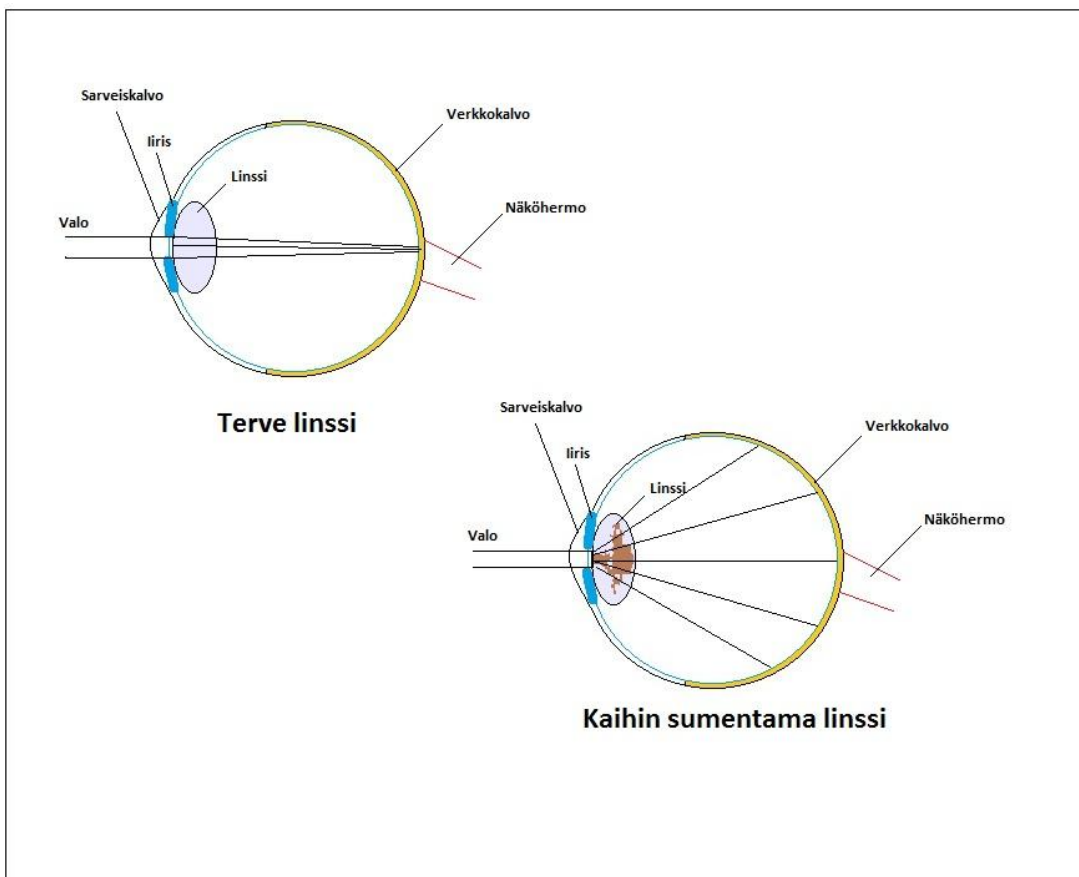
### 5.2 Terveysvaikutukset silmille

Tunnetuimmat UV-säteilyn haittavaikutukset silmille ovat lumisokeus, kaihi ja melanooma. Melanooma voi kasvaa silmän suonikalvoon aivan kuten ihoonkin. UV-säteily on sen merkittävä vaaratekijä ja silmän melanoomien määrä on lisääntynyt ihomelanoomien kanssa samassa tahdissa. [8]

Lumisokeudella tarkoitetaan silmän tulehdustilaa, joka johtuu sarveiskalvon vaurioitumisesta voimakkaassa UV-säteilyssä. Lumisokeudessa silmät ovat punaiset, kipeät ja hyvin valoarat. Silmissä on roskantunnetta ja kyynelnesteen vuoto on runsasta. Oireet eivät ala välittömästi vaan vasta noin 6 - 8 tunnin kuluttua altistumisesta ja kestävät noin kaksi vuorokautta. Lumisokeudesta ei jää pysyviä vammoja silmiin. Lumisokeuden aiheuttaa yleensä liian pitkä suojaamaton oleskeleminen kirkkailta keväät hangilla tai keskikesällä merellä. Lumisokeutta voi aiheuttaa myös sähköhitsa-

uksen valokaaren katsominen ilman suojalaseja sekä erilaiset keinotekoisien UV-säteilyn lähteet, kuten desinfiointiin tarkoitettut bakteerilamput. [8]

Kaihilla tarkoitetaan silmän mykiön samentumista. Samentuminen aiheuttaa näön hämärtymistä, häikäistymisen lisääntymistä, vaikeuksia kasvonpiirteiden tunnistuksessa ja pahimmillaan näkökyvyn menetystä. Kaihi on sokeutumisen syynä noin 45%:ssa tapauksista maailmanlaajuisesti tarkasteltuna, mutta sitä voidaan hoitaa nykyaikaisella kaihikirurgialla. Kaihin syytä on monia, joista ikä on tärkein. Kaihi jaetaan kolmeen päätyyppiin, jotka ovat kapselin alainen kaihi, kuorikerroksen kaihi sekä tumakaihi. UV-säteily osallistuu kuorikerroksen kaihin syntyyn. Kuorikerroksen kaihissa samentuminen alkaa mykiön reunoilta ja etenee säteittäisesti kohti mykiön keskustaa kunnes koko mykiö on harmaavalkea. Kaihin vaikutus näköön on esitetty kuvassa 3. Kuvassa oikeanpuoleisen silmän mykiö on kaihin sumentama, jonka seurauksena valo siroaa ennen verkkokalvolle osumista. [8] [11]



Kuva 3 Kaihin vaikutus näkökykyyn (Kuva: Jukka Holopainen 2011)

### 5.3 UV-säteilyltä suojautuminen

UV-säteilyltä suojautuminen on tarpeellista aina, kun on syytä olettaa UV-säteilyn määrän olevan merkittävää. UV-säteilyltä suojautumisen yleiset periaatteet ovat säteilyaltistumisen välttäminen, suojautuminen vaateuksella, suojavoiteet ja silmien suojaus. Tehokkain tapa suojautua UV-säteilyltä on välttää oleilua auringonvalossa tai keinotekoisen UV-säteilylähteen altistusalueella pidempään, kuin pakollista. Pitkäaikaisen oleskelun ollessa välttämätöntä, tulee säteilyltä suojautua sopivalla vaateuksella ja silmäsuojauksella. Vaatteet tarjoavat tehokkaan suoja UV-säteilyä vastaan. Parhaan suojan tarjoavat löyhästi laskeutuvat vaatteet, jotka eivät ole aivan ihon pinnassa kiinni. Päähineet suojaavat tehokkaasti päätä ja kasvoja, varsinkin keskipäivän auringolta. Isolieriset hatut voivat suojata tehokkaasti koko kehoa, auringon paistaessa suoraan yläpuolelta. Jos auringonvalossa oleillaan ilman vaatteiden suojaa, voidaan ihon säteilyaltistusta pienentää erilaisilla suojavoiteilla.

Suoja-aineita on kemiallisia ja fysikaalisia. Kemiallisissa suojavoiteissa on konjugoituja kaksoissidoksia sisältäviä molekyylejä, jotka absorboivat UV-säteilyä tehokkaasti. Fysikaalisissa suoja-aineissa on yleensä sinkki- tai titaanioksideja, jotka heijastavat säteitä ihosta pois päin. Suojavoiteet eivät monesti yllä pakkauksessa luvatussa suojatasolle. Suojakerrointa määritettäessä käytetään yleensä kerrospaksuuksia, jotka jäävät käytössä saavuttamatta. Suojavoiteet pystyvät oikein käytettynä estämään auringossa palamisen mutta iho altistuu siitä huolimatta UV-säteilylle. Niitä tulisi käyttää ihon säteilyrasituksen vähentämiseksi, eikä keinona pidentää auringossa oleskeltavaa aikaa. [2]

Krooninen UV-altistus voi aiheuttaa harmaakaihin kehittymisen silmän mykiöön. Silmien suojaaminen UV-säteilyltä on tarpeellista. Aurinkolasien tulisi suojata myös sivulta tulevalta säteilyltä, jonka osuus voi olla jopa 10 - 25 %. Pelkkä edestä tulevan UV-säteilyn suojaus voi olla jopa vahingollista, koska lasien käyttö laajentaa mustu-aista, jolloin suurempi osa sivuilta saapuvasta säteilystä pääsee mykiölle. [2]

EU:n komission antamassa optisen säteilyn direktiivissä 2006/25/EY on määrätty työntekijöiden työperäistä UV-säteilyaltistumista koskevat raja-arvot. Työpaikoilla joissa raja-arvojen ylittyminen on mahdollista, työntekijöitä tulee suojella UV-säteilyltä. Merkittävimmät UV-säteilylle altistuvat ammattikunnat ovat hitsaajat ja ulko-työläiset. Työympäristössä UV-säteilyltä suojautumisessa tärkeintä on asianmukainen vaateus ja silmäsuojaus. [2]

## 6 OPTISTA SÄTEILYÄ KOSKEVA LAINSÄÄDÄNTÖ

*Direktiivi 2006/25/ey terveyttä ja turvallisuutta koskevista vähimmäisvaatimuksista työntekijöiden suojelemiseksi altistumiselta fysikaalisista tekijöistä (keinotekoinen optinen säteily) aiheutuville riskeille on Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi, joka on annettu 5.4.2006. Direktiivi käsittelee terveyttä ja turvallisuutta koskevia vähimmäisvaatimuksia työntekijöiden suojelemiseksi optiselta säteilyltä. Direktiivissä on määrätty tarvittavasta riskinarvioinnista työpaikoilla, joissa voi olla haitallisia määriä optista säteilyä. Myös optiselle säteilylle altistumisen raja-arvot, sekä niiden laskemiseen tarvittavat suureet ja kaavat on käsitelty direktiivissä.*

Direktiivissä on määrätty työnantajien velvollisuuksista, joihin kuuluu altistumisen määrittely, riskien arviointi, estäminen ja vähentäminen, työntekijöille annettavat tiedot ja koulutus sekä heidän terveydentilan seuranta. Altistumisen määrittelystä ja riskien arvioinnista on määrätty mm. seuraavaa:

*1. Jos työntekijät altistuvat keinotekoisille optisen säteilylähteille, työnantajan on direktiivin 89/391/ETY 6 artiklan 3 kohdassa ja 9 artiklan 1 kohdassa säädettyjä velvollisuuksia täyttäessään arvioitava ja tarvittaessa mitattava ja/tai laskettava optiselle säteilylle altistumisen tasot, joille työntekijät todennäköisesti altistuvat, jotta tarvittavat toimenpiteet altistumisen estämiseksi ylittämästä sovellettavia arvoja voidaan määrittää ja panna täytäntöön. Arvioinnissa, mittauksessa ja/tai laskennassa käytettävien menetelmien on noudatettava Kansainvälisen sähkötekniikan toimikunnan (IEC) standardeja lasersäteilyn osalta ja Kansainvälisen valaistustoimikunnan (CIE) ja Euroopan standardointikomitean (CEN) suosituksia epäkoherentin säteilyn osalta. Sellaisissa altistumistilanteissa, joita nämä standardit ja suositukset eivät kata, ja siihen asti, kunnes tarkoituksenmukaiset EU:n standardit tai suositukset ovat saatavissa, arviointi, mittaus ja/tai laskenta on suoritettava käytettävissä olevien kansallisten tai kansainvälisten tieteellisesti perusteltujen ohjeiden mukaisesti. Kaikkien altistumistilanteiden arvioinnissa voidaan ottaa huomioon myös laitteen valmistajan ilmoittamat tiedot, jos laite kuuluu asiaa koskevien yhteisön direktiivien soveltamisalaan.*

Säteilyaltistumisen arvioinnista on määrätty 4 artiklan kohdassa kolme seuraavaa:

*3. Työnantajan on direktiivin 89/391/ETY 6 artiklan 3 kohdan säännösten mukaisesti otettava riskien arvioinnissa huomioon erityisesti seuraavat seikat:*

*a) keinotekoisille optisen säteilyn lähteille altistumisen taso, aallonpituusalue ja kesto;*

*b) tämän direktiivin 3 artiklassa tarkoitetut altistumisen raja-arvot;*

*c) vaikutukset erityisen alttiin riskiryhmiin kuuluvien työntekijöiden terveyteen ja turvallisuuteen;*

Riskien vähentämistä ja estämistä koskevissa säännöksissä on määrätty tarkasti toimenpiteistä säteilyaltistuksen raja-arvojen ylittyessä työpaikalla. Yleisellä tasolla 5 artiklan kohdassa 1 on määrätty seuraavaa:

*1. Keinotekoiselle optiselle säteilylle altistumisesta aiheutuvat riskit on poistettava tai pienennettävä niin vähäisiksi kuin mahdollista ottaen huomioon tekninen kehitys ja toimenpiteet, jotka ovat käytettävissä riskin hallitsemiseksi sen syntyvaiheessa. Keinotekoiselle optiselle säteilylle altistumisesta aiheutuvia riskejä on vähennettävä noudattaen direktiivissä 89/391/ETY säädetyjä yleisiä ehkäiseviä toimenpiteitä koskevia periaatteita.*

Valtioneuvoston asetus 146/2010 työntekijöiden suojelemiseksi optiselle säteilylle altistumisesta aiheutuvilta vaaroilta on direktiivin 2006/25/ey pohjalta määrätty asetus. Asetuksessa määrätyt toimenpiteet, mittaussuureet ja raja-arvot ovat samat kuin direktiivissä 2006/25/ey. Asetus on astunut voimaan 27. heinäkuuta 2010.

## 7 MITTAUSKOHTEET

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää Karelia-Upofloor Oy:n Kuopion ja Tuupovaaran tehtailla tapahtuvat optiselle säteilylle altistumisen määrät. Säteilymäärät oli huomattu aistivaraisesti arvioimalla voimakkaiksi ja todettu tarpeellisiksi mitata.

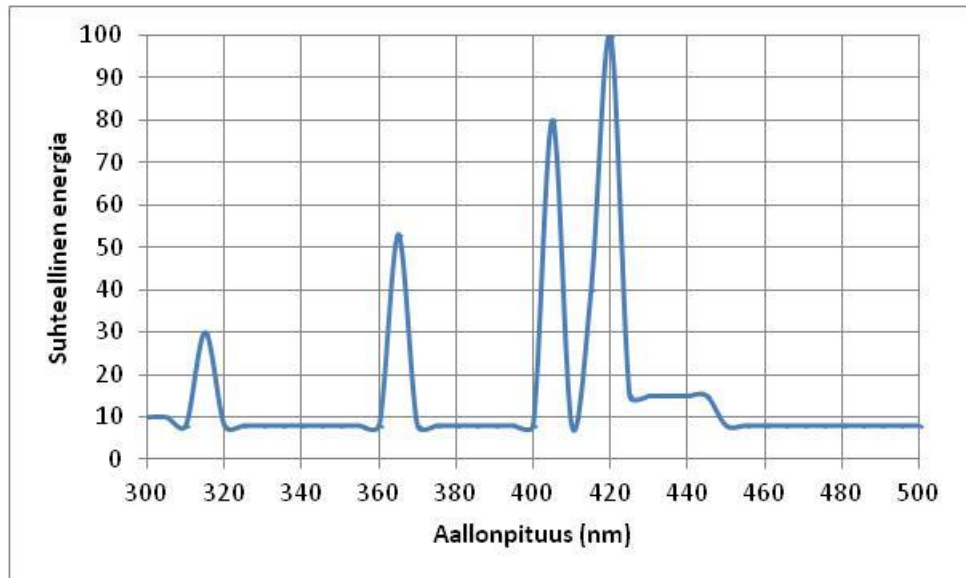
Mittauskohteet ovat Karelia-Upofloor Oy:n Kuopion ja Tuupovaaran tehtailla sijaitsevien UV-kuivatuslinjojen työpisteet. Työpisteille tulee optista säteilyä parkettien pintakäsittelyn kuivauksessa käytettävistä UV-lampuista. Kuivainten lamput on osittain koteloitu, mutta niistä pääsee optista säteilyä ympäristöön. Esimerkki kuivausyksiköstä on esitetty kuvassa 4. Kuivausyksiköitä on erilaisia, mutta ne kaikki toimivat samalla periaatteella. Yksikössä on yksi tai useampi 100-120W UV-loisteputki ja sen läpi kulkee hihna- tai rullakuljetin, jota pitkin pintakäsittellyt parketit kulkevat. Rakenteesta johtuen yksikön tulo- ja poistoaukot ovat avoimia ja esteettömiä parkettien lisäksi lamppujen tuottamalle optiselle säteilylle. Kuivausyksiköt ovat pääsääntöisesti päällä koko työvuorona ajan, joten altistumisen voidaan katsoa olevan jatkuvaa.



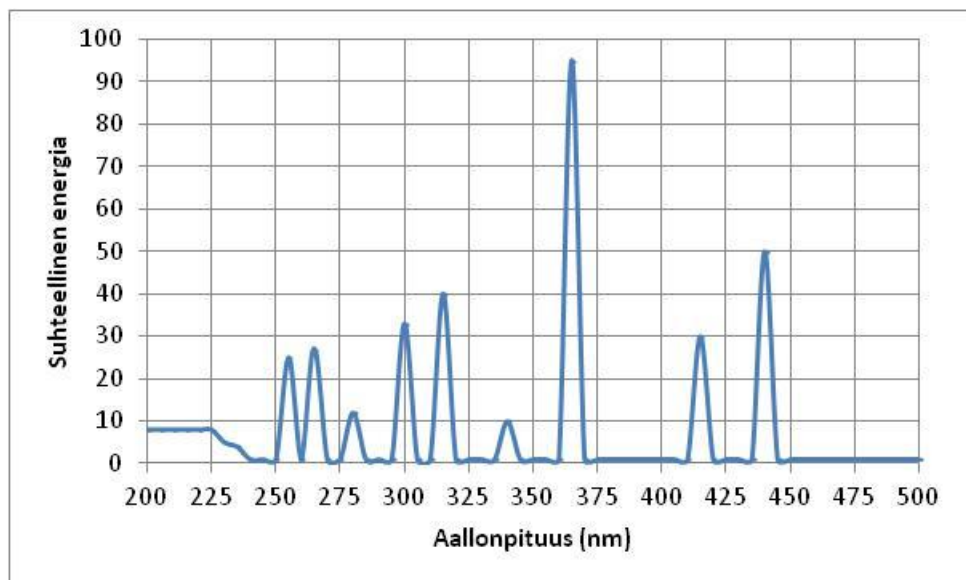
Kuva 4 Lakankuivausyksikkö (Kuva: Jukka Holopainen 2011)



Kuivatuslinjoilla käytetään pääasiassa elohopealamppuja. Elohopealamput tuottavat pääasiassa UV-A -säteilyä aallonpituudella 365 nm. Kuopion tehtaan hiomalinjassa yhdessä kuivausyksikössä on käytössä myös kaliumlamppu. Kaliumlamput tuottavat pääasiassa violettiä valoa aallonpituuksilla 403 nm ja 417 nm. Kaliumlampan emissiospektri on esitetty kuvassa 5 ja elohopealampan kuvassa 6. [13]



Kuva 5 Kaliumlampan emissiospektri (Jukka Holopainen 2011)



Kuva 6 Elohopealampan emissiospektri (Jukka Holopainen 2011)

## 7.1 Kuopion tehdas

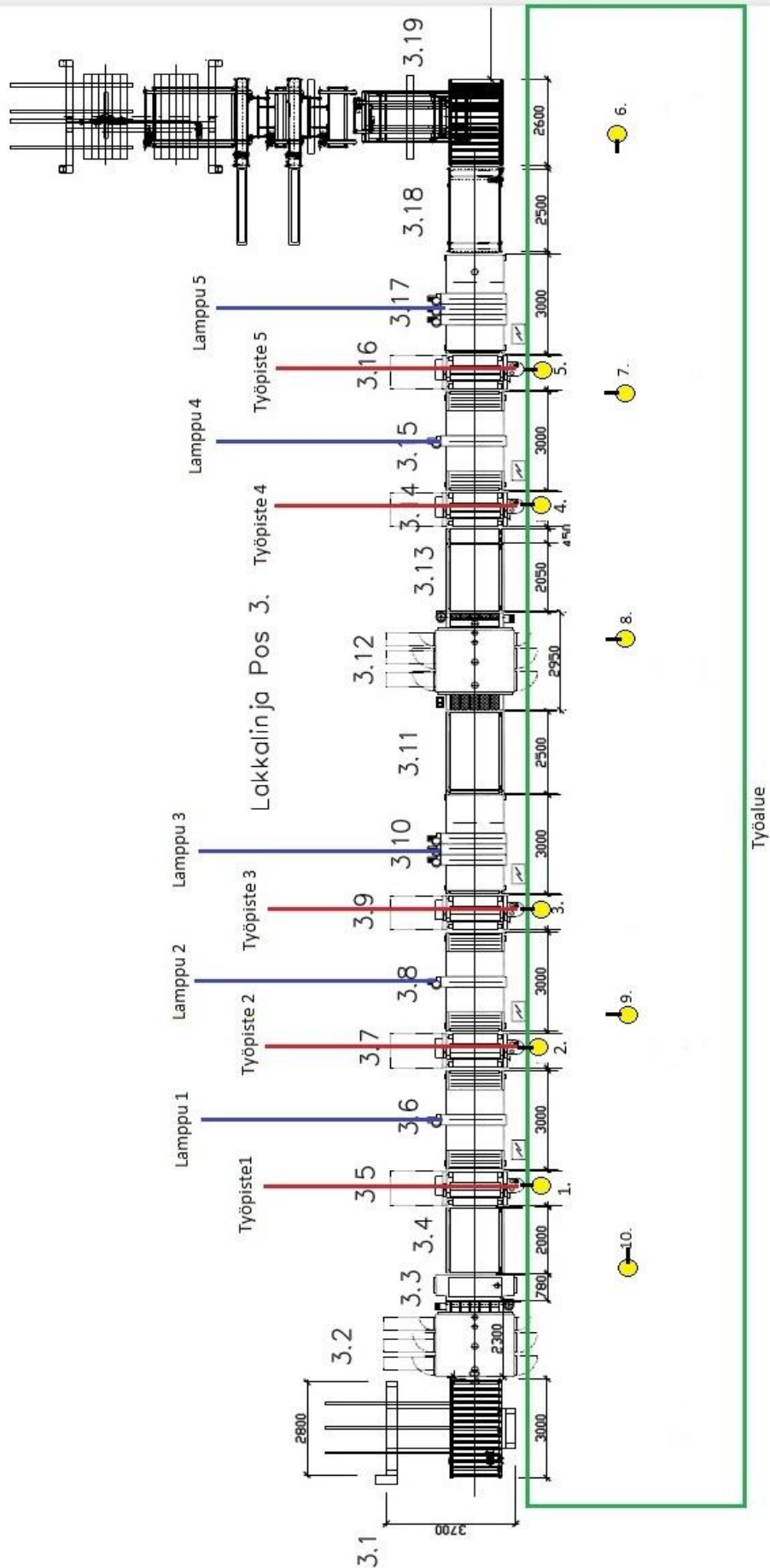
Kuopion tehtaalla pintakäsittelylinjoja on kolme: kitti-, lakka- ja öljylinjat. Jokaisella linjalla on 2 - 4 työpistettä ja jokaisella linjalla toimii yksi työntekijä työvuorossa. Työntekijät oleskelevat linjojen välittömässä läheisyydessä koko työvuoron ajan, joten altistumismäärät täytyi mitata työpisteiden lisäksi linjastojen viereisiltä liikkuma-alueilta. Linjastoilla tapahtuva työskentely on pääasiassa pintakäsittelyaineiden lisäystä linjastolla oleviin säiliöihin sekä prosessin- ja laadunvalvontaa.

### 7.1.1 Lakkalinja

Lakkalinjalla on viisi työpistettä, joilla yksi työntekijä kiertää lisäämässä lakkaa työvuoron aikana. Jokaisen työpisteen välittömässä läheisyydessä on vähintään yksi UV-kuivainyksikkö. Lakkalinjan työskentelyalue kulkee linjan vieressä ja sitä käytetään työpisteille kulkemiseen ja prosessin valvontaan. Lakkalinjan kuivatuslamput ovat kaikki elohopealamppuja. Esimerkki lakkalinjan työpisteestä on esitetty kuvassa 7. Lakkalinjan mittauspisteet on esitetty kuvassa 8. Mittauspisteet on merkitty keltaisilla pisteillä. Mittauspisteet 1 - 5 ovat lakanlisäyspisteitä ja pisteet 6 - 10 ovat työskentelyalueen säteilyn kartoitusta varten.



Kuva 7 Kuopion lakkalinjan työpiste (Kuva: Jukka Holopainen 2011)



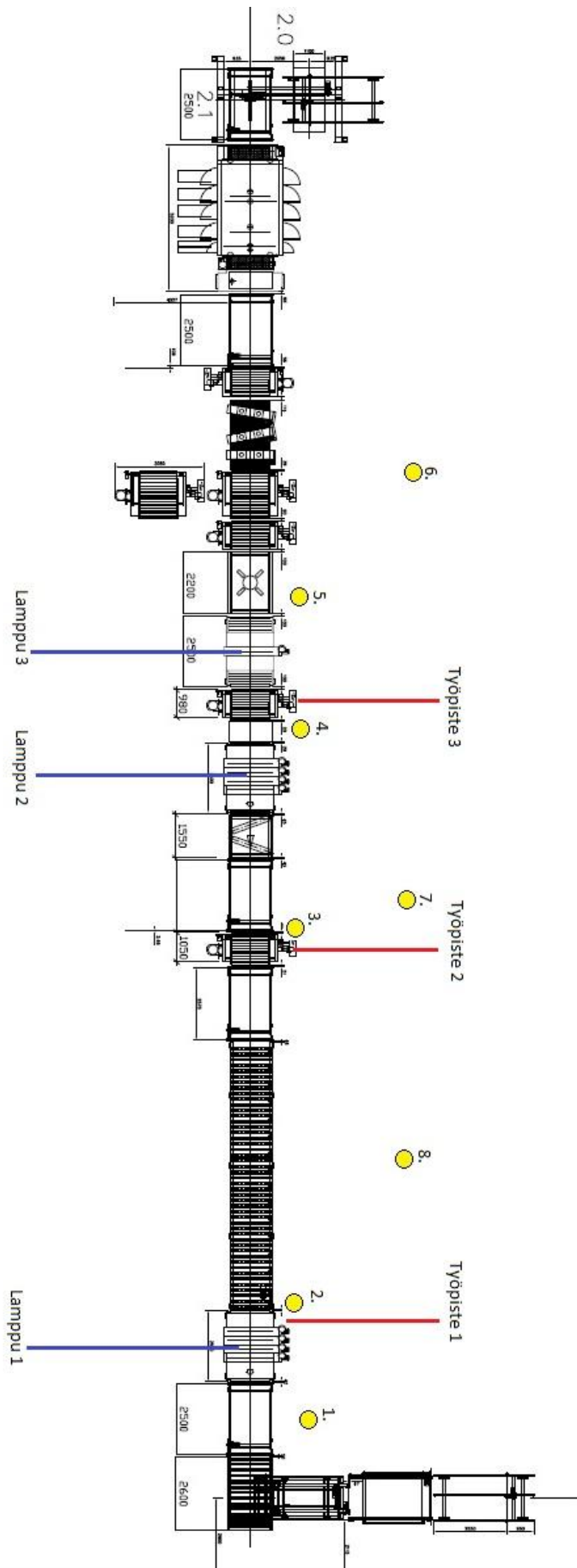
Kuva 8 Kuopion tehtaan lakkalinja, mittauspisteet 1 - 10 (Kuva: Jukka Holopainen 2011)

## 7.1.2 Öljylinja

Öljylinjalla on kolme työpistettä sekä kolme kuivainyksikköä. Työpisteellä yksi suoritetaan laadun- ja prosessinvalvontaa. Työpisteillä kaksi ja kolme lisätään pintakäsittelyaineita. Esimerkki öljylinjan työpisteestä on esitetty kuvassa 9. Öljylinjan pohjapiirros on esitetty kuvassa 10. Mittauspisteet 1-4 ovat työpisteiden ja lamppujen läheisyydessä tapahtuvaa säteilyn mittausta varten. Pisteet 6-8 ovat ympäröivän työalueen säteilyn kartoitusta varten.



Kuva 9 Kuopion tehtaan öljylinjan työpiste (Kuva: Jukka Holopainen 2011)



Kuva 10 Kuopion tehtaan öljylinja, mittauspisteet 1 – 8. (Kuva: Jukka Holopainen 2011)

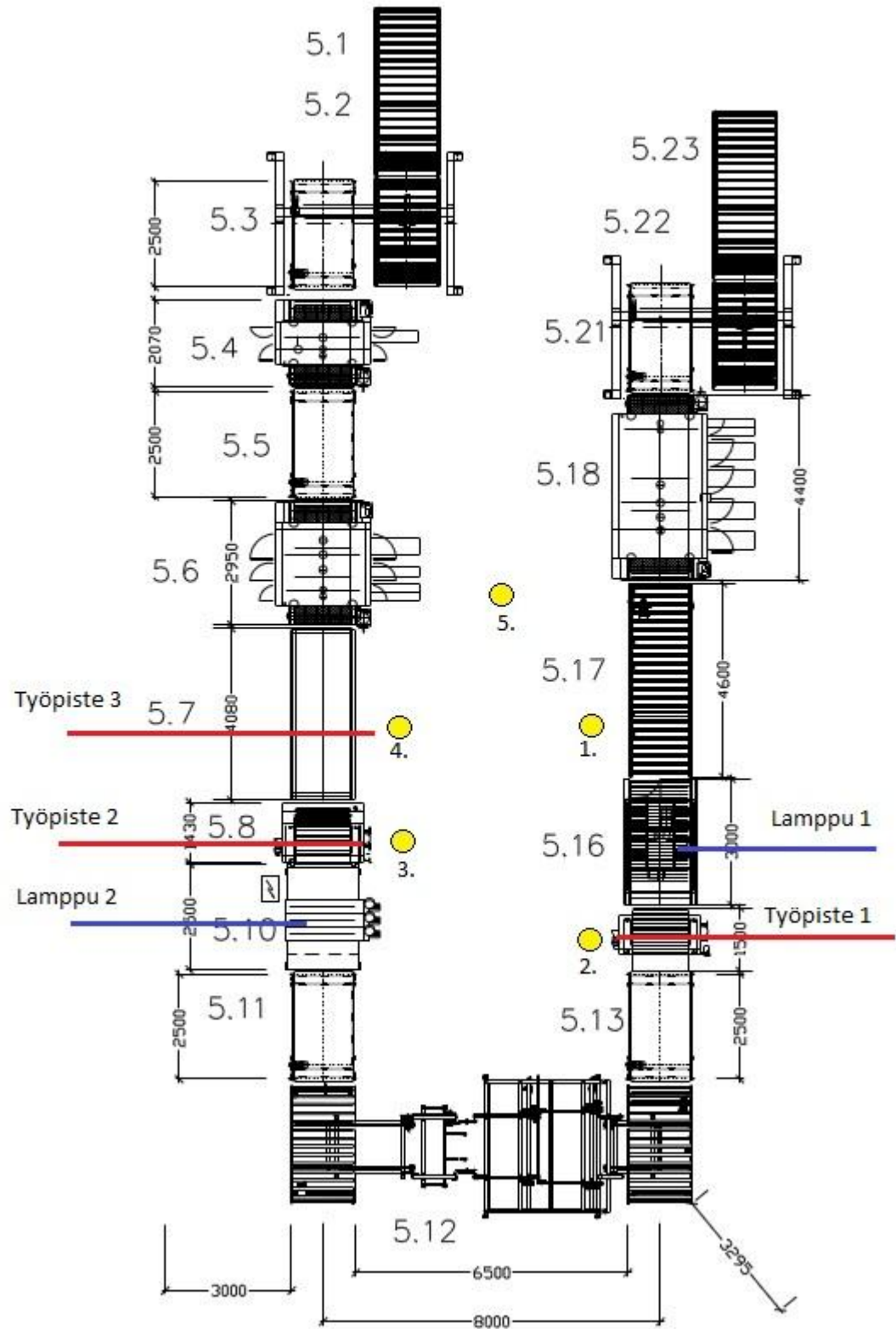
### 7.1.3 Hiomalinja

Hiomalinjalla on kaksi UV-kuivausyksikköä ja kolme työpistettä. Linjalla on yksi työntekijä vuoron aikana. Hiomalinjan toisessa kuivausyksikössä (Lamppu 1, Kuvassa 11.) on kolme elohopealamppua ja yksi kaliumlamppu. Toisessa kuivausyksikössä on yksi elohopealamppu. Esimerkki hiomalinjan työpisteestä on esitetty kuvassa 11. Hiomalinjan työpisteet, lamput ja mittauspisteet on esitetty kuvassa 12.



Kuva 11 Kuopion tehtaan hiomalinjan työpiste (Kuva: Jukka Holopainen 2011)

Spackeli/Hiomalinja Pos 5.



Kuva 12 Kuopion tehtaan hiomalinja, mittauspisteet 1 – 5. (Kuva: Jukka Holopainen 2011)

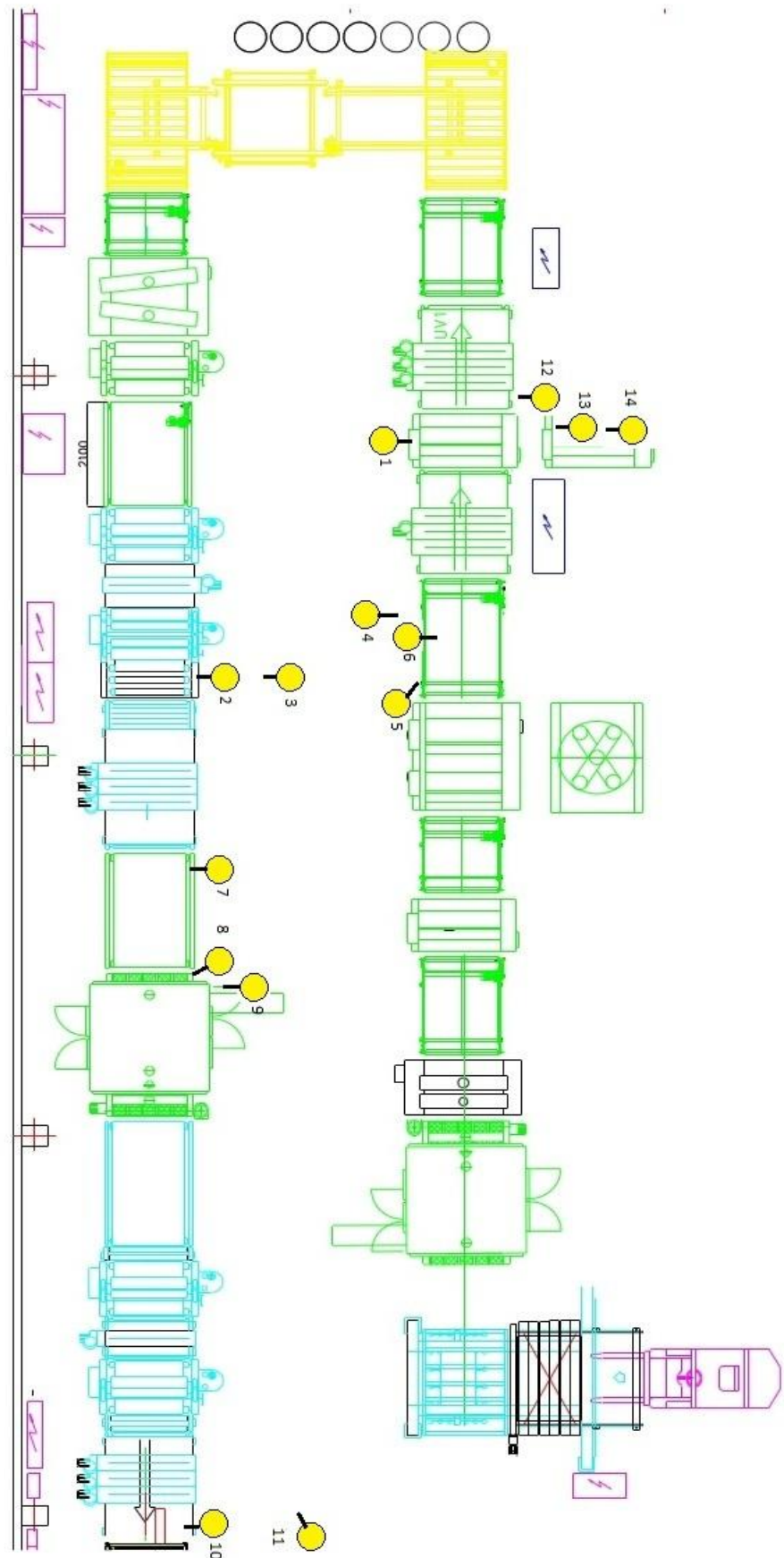
## 7.2 Tuupovaara

Tuupovaaran tehtaalla UV-lamppuja käytetään lakka- ja hiomalinjalla. Kaikki lamput ovat elohopealamppuja. Linjastot ovat hyvin samankaltaisia Kuopion tehtaan linjojen kanssa. Tuupovaaran UV-yksiköistä osa on paremmin suojattuja kuin Kuopion tehtaalla. Suojaukset on toteutettu asettamalla UV-kuivausyksiköiden suuaukoille ja sivuille erilaisia pressuja tai levyjä.

### 7.2.1 Lakkalinja

Lakkalinjalla on useita valvontapisteitä sekä lakanlisäyspisteitä. Kuivausyksiköitä on yhteensä kuusi. Mittauksia suoritettiin myös paikoista, joista ympäristöön pääsevä optinen säteily oli silmämääräisesti arvioituna huomattavaa. Lakkalinjan mittauspisteet on esitetty kuvassa 13.

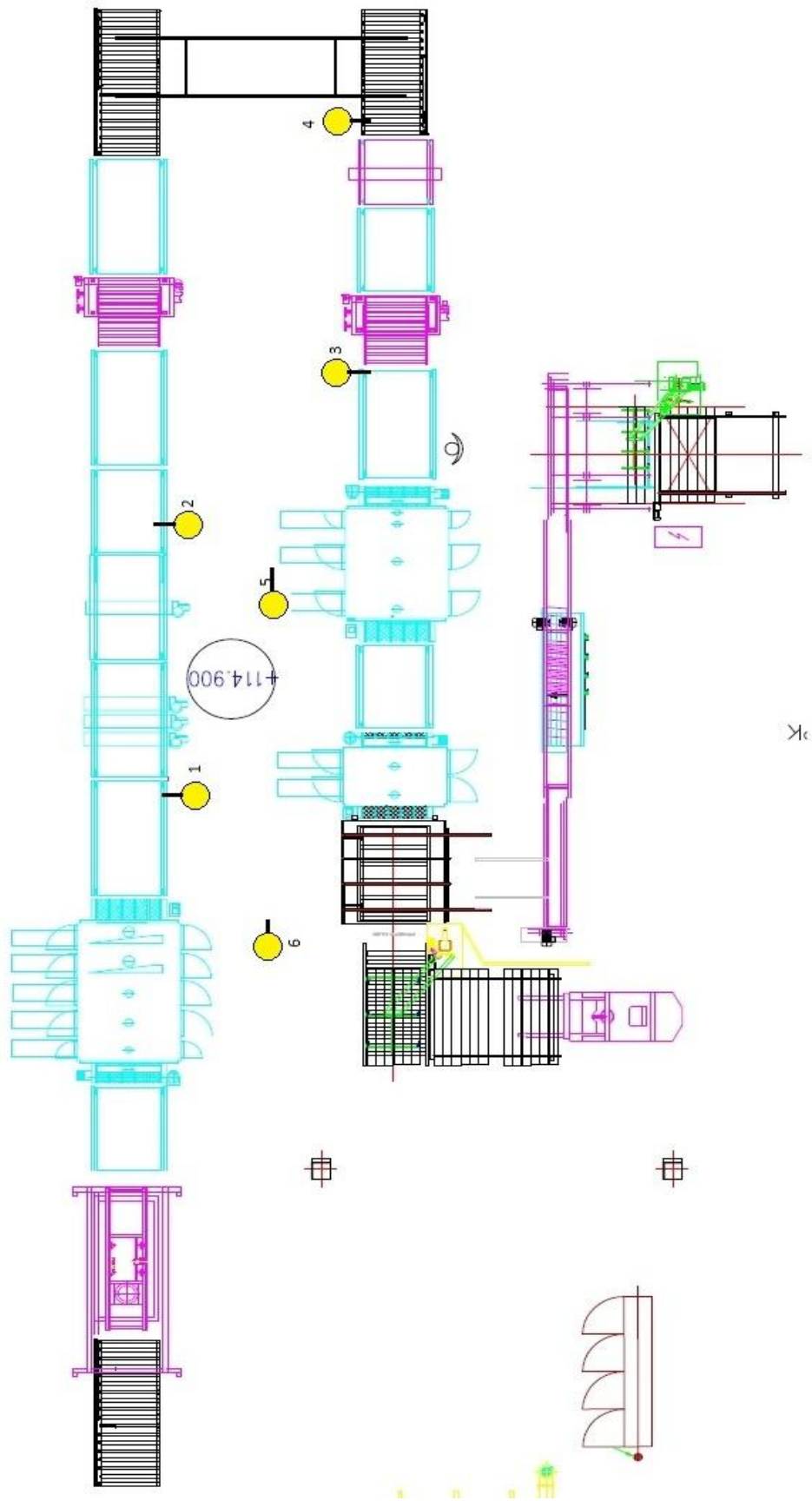




Kuva 13 Tuupovaaran tehtaan lakkalinja, mittauspisteet 1 – 11. (Kuva: Jukka Holopainen 2011)

## 7.2.2 Hiomalinja

Tuupovaaran hiomalinjalla on neljä kuivausyksikköä ja kaksi valvontapistettä. Säteilyä mitattiin myös pisteistä missä ympäristöön pääsevä optinen säteily oli silmämääräisesti arvioituna huomattavaa. Hiomalinjan pohjapiirustus ja mittauspisteet on esitetty kuvassa 14.



Kuva 14 Tuupovaaran tehtaan hiomalinja, mittauspisteet 1 – 5. (Kuva: Jukka Holopainen 2011)

## 8 MITTAUSJÄRJESTELYT

### 8.1 EU-ohjeistus

Optisen säteilyn mittauksista työympäristössä UV-säteilyn osalta on määrätty standardissa SFS EN [14255-1]. Standardissa on määritelty mitattavat suureet, mittausten tarpeellisuuden arviointi ja eri tilanteisiin sopivat mittausmenetelmät.

Standardissa on määrätty seuraavien kohtien toteutuksesta UV-säteilyn arvioinnissa ja mittauksessa:

- alustava arvio tilanteesta
- työvuoroanalyysi
- UV-säteilyn mittaus
- UV-säteilyn arviointi
- suojaustoimenpiteiden tarve
- mittausten ja arvion uusimisen tarve
- raportointi

Alustava arviointi oli jo osittain suoritettu Karelia-Upofloor Oy:n toimesta ja oli todettu tarve UV-säteilymäärien selvittämiseksi. Arvioinnissa todettiin säteilymäärien olevan todennäköisesti haitallisia ja niiden selvittämiseen tarvittavan mittauksia.

Työvuoroanalyysissä selvitettiin tilanteet ja alueet joissa työntekijät voivat altistua säteilylle, säteilyä tuottavien laitteiden tyypit ja määrät sekä säteilyspektrin jakauma. Työvuorotietojen pohjalta arvioitiin kriittisimmät mittauspisteet. Karelia-Upofloor Oy toimitti UV-säteilyä tuottavien lamppujen säteilyspektrit, joiden pohjalta päätettiin tarvittava mittauslaitteisto.

UV-säteilyn mittausmenetelmän valinnassa ja mittausten toteutuksessa standardin mukaisesti on otettava huomioon seuraavat asiat:

- mitattavat suureet
- säteilyn spektrinen jakauma
- säteilyspektrin aikariippuvuus
- irradianssin aikariippuvuus
- altistumismäärä

- työntekijöiden oleskelu- ja liikkuma-alueet
- oikeanlaiset menetelmän valinta
- mittausmenetelmien vaatimusten täytyminen
- henkilökohtainen säteily suojaus

VNa 146:ssa määrättyjen suureiden perusteella tiedettiin että mittaus tulee toteuttaa spektroradiometrillä, spektrisen irradianssin selvittämiseksi. Lamppujen spektrisen jakauman pohjalta tiedettiin voimakasta säteilyä olevan UV-A, UV-B ja UV-C alueella sekä sinisen valon alueella. Koska kyseessä oli suuritehoiset korkeapurkauslamput, joita käytettiin vakiojännitteellä, voitiin säteily spektrin ja irradianssin olettaa pysyvän vakioina ajan suhteen. VNa 146:ssa selvitettäväksi määrättyt suureet kuten  $H_{eff}$ , voidaan määrittää laskennallisesti kun spektrinen irradianssi ja altistumisaika tunnetaan. Näiden tietojen pohjalta todettiin Itä-Suomen Yliopistolla olevan skannaavan spektro radiometrin soveltuvan mittauksiin. Taulukossa 4 on esitetty standardissa esitetty menetelmän valintataulukko. Taulukossa kohta C esittää skannaavaa spektroradiometriä. [12]

Taulukko 4 Standardin SFS-EN14255-1 mukainen menetelmänvalintataulukko (Taulukko: Jukka Holopainen 2011)

Mittauksen tavoite ja altistumisolosuhteet	Menetelmät $H_{eff}$ :n mittaamiseksi						Menetelmät $H_{UVA}$ :n mittaamiseksi						Menetelmät E:n mittaamiseksi			
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
Ajan suhteen vakio säteilyteho	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ajan suhteen muuttuva säteilyteho	x	x		x	x	x	x	x		x	x	x	x	x		x
UV-säteilyaltistumisen $H_{eff}$ suora mittaus				x	x	x										
säteilyaltistumisen $H_{UVA}$ suora mittaus										x	x	x				
Irradianssin E suora mittaus							x						x	x		x
säteilyaltistumisen $H_{eff}$ mittaus					x	x					x	x				
Henkilökohtaisen irradianssin E mittaus																x
Erittäin tarkka spektrisesti painotettu mittaus		x	x					x	x					x	x	

## 8.2 Mittauslaitteet

Radiometriset mittaukset, joissa mitataan useita erilaisia kohteita ja joissa on tarve mitata säteilylähteiden spektrinen jakauma, täytyy toteuttaa spektrometrillä. Spektrometri on laite, joka koostuu sisäänmeno-optiikasta, säteilyn eri aallonpituuksiin jakavasta monokromaattorista, sekä detektorista. [2]

Tässä työssä tehdyt mittaukset toteutettiin Itä-Suomen yliopistolta vuokratulla Optronic Laboratories OL 756 skannaavalla spektrometrillä. Laite on kannettava ja sitä voidaan tarvittaessa käyttää akulla. Laite tarvitsee kenttäkäytössä lisäksi kannettavan tietokoneen, johon se syöttää mittausdatan. Dataa voidaan tarkastella tarkoitukseen suunnitellulla ohjelmalla, josta se voidaan syöttää suoraan Excel-taulukkoon. OL 756:n teoreettinen mitta-alue on 200 nm - 800 nm ja sillä voidaan mitata radianssia, irradianssia ja reflektanssia. Yliopiston OL 756 on kuitenkin tilattu vain kalibroituina aallonpituusalueelle 250 nm – 800 nm ja tarvittavalla sisäänmeno-optiikalla irradianssi ja reflektanssi mittauksiin. Tästä johtuen mittauksista jäi puuttumaan aallonpituusalue 180 nm – 249 nm, joka on säteilyn haitallisuuden kannalta merkittävä, mutta säteilylähteiden säteilyspektreistä johtuen hyvin vähäinen. Koska radianssimittauksiin tarvittava sisäänmeno-optiikka puuttui, ei myöskään VNa 146:ssa esitettyjä sinisen valon radianssiarvoja voitu mitata. OL 756 on esitetty käyttövalmiudessa kuvassa 15.



Kuva 15 OL 756 Spektroradiometri käytössä (Kuva: Jukka Holopainen 2011)

### 8.3 Mittausten toteutus

Mittauspisteet valittiin pitkälti aistivaraisesti arvioimalla. Koska UV-säteilyä emittoivat lamput emittoivat myös voimakkaasti sinistä valoa, oli riskialttiiden paikkojen arviointi mahdollista silmämääräisesti ja koemittauksilla. Toinen valintakriteeri mittauspisteille oli pintakäsittelylinjastojen työpisteet, joissa työntekijöiden voidaan olettaa altistuvan pitkäaikaisemmin optiselle säteilylle. Mittaukset suoritettiin valtaosassa pisteistä kahdella eri korkeudella: Linjaston tasolla, jossa ympäristöön pääsevä säteily oli korkeimmillaan, sekä 1,5 - 1,6 m korkeudella jossa ihmisen kasvot ja silmät keskimäärin sijaitsevat. Mittauksia suoritettiin myös linjastojen viereisillä liikkuma-alueilla, joissa työntekijät oleilevat työvuoronsa aikana. Esimerkki mittausjärjestelystä on esitetty kuvassa 16 ja 17.



Kuva 16 Kuopion tehtaan lakkalinjan liikkuma-alueella suoritettu mittaus (Kuva: Jukka Holopainen 2011)



Kuva 17 Kuopion tehtaan lakkalinjan työpisteellä suoritettu mittaus (Kuva: Jukka Holopainen 2011)

OL 756 Spektroradiometrillä suoritettujen mittausten tuloksena saatiin pisteeseen emittoituva spektrinen irradianssi. Spektrisen irradianssin pohjalta määritettiin laskennallisesti suureet  $E_{eff}$ ,  $E_{UVA}$  ja  $E_b$ , sekä näiden pohjalta säteilyaltistumista mittaavat  $H_{eff}$  ja  $H_{UVA}$ . Suureet on käsitelty tarkemmin kappaleessa 9.1. Suurista datamääristä



johtuen mittaustulokset käsiteltiin ja laskettiin Excelillä. Koska mittauslaitteistosta puuttui tarvittavat optiikat ja kalibrointistandardit radianssimittausten suorittamiseen, ei laitteistolla voitu määrittää sinisen valon efektiivistä radianssia  $L_b$ .  $L_b$ :n sijasta määritettyä  $E_b$ :tä sovelletaan yleensä vain erittäin pieniin (kulmakoko  $<11$  mrad) paikallaan pysyviin kohteisiin sekä liikkumattomaan silmään anestesian aikana.  $E_b$ :n raja-arvon ylittyminen kertoo kuitenkin sinisen valon mahdollisesti silmille haitallisista määristä, eikä raja-arvon ylittäviä kohteita tulisi tuijottaa pitkiä aikoja.

## 9 TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU

### 9.1 Tulosten laskenta

Spektroradiometrillä mitattiin efektiivinen irradianssi, eli spektrinen tehotiheys  $E_\lambda$ . Efektiivinen irradianssi tarkoittaa tietylle pinnalle kohdistuvaa säteilytehoa pinta-alayksikköä kohden. VNa 146:ssa on määritetty spektriset painotuskertoimet UV-alueen säteilylle, siniselle valolle ja infrapunasäteilylle. Spektroradiometrillä suorite-  
tuista mittauksista saatujen  $E_\lambda$ :n arvojen pohjalta laskettiin UV-alueen (180nm - 400nm) efektiivinen irradianssi  $E_{eff}$  kaavalla

$$E_{eff} = \sum_{\lambda=180nm}^{\lambda=400nm} E_\lambda S(\lambda) \Delta(\lambda) \quad (1)$$

jossa

$E_{eff}$  = UV-alueen efektiivinen irradianssi ( $W m^{-1}$ )

$E_\lambda$  = Efektiivinen irradianssi ( $W m^{-2} nm^{-1}$ )

$S(\lambda)$  = Spektrinen painotus jossa otetaan huomioon UV-säteilyn ihoon ja silmiin kohdistuvien terveysvaikutusten aallonpituusriippuvuus.  $S(\lambda)$ :n painotuskertoimet on määritelty VNa 146/2010:n liitteessä 1, taulukossa 1.2.

$\Delta(\lambda)$  = Mittausväli. Tässä tapauksessa 1nm.

Seuraavaksi määritettiin UV-alueen efektiivinen energiatiheys  $H_{eff}$ , eli  $S(\lambda)$ :lla spektrisesti painotettu säteilyaltistuminen kaavalla

$$H_{eff} = E_{eff} \Delta t \quad (2)$$

jossa

$H_{eff}$  = Säteilyaltistuminen

$\Delta(t)$  = Altistumisaika (s)

Seuraavaksi laskettiin UV-A -alueen (315nm – 400nm) kokonaisirradianssi  $E_{uva}$  kaavalla

$$E_{UVA} = \sum_{\lambda=315nm}^{\lambda=400nm} E_\lambda S(\lambda) \Delta(\lambda) \quad (3)$$

$E_{UVA}$ :n pohjalta laskettiin UV-A -alueen spektrisesti painotettu energiatiheys  $H_{UVA}$  kaavalla

$$H_{UVA} = E_{UVA} \Delta t \quad (4)$$

Lopuksi määritettiin sinisen valon (300nm – 700nm) efektiivinen irradianssi  $E_b$  kaavan 5 mukaisesti.

$$E_B = \sum_{\lambda=300nm}^{\lambda=700nm} E_{\lambda} B(\lambda) \Delta(\lambda) \quad (5)$$

jossa

$E_b$  = Sinisen valon efektiivinen irradianssi ( $W m^{-1}$ ).

$B(\lambda)$  = Spektrinen painotus jossa otetaan huomioon sinisen valon silmälle aiheuttaman fotokemiallisen vaurion aallonpituusriippuvuus.  $B(\lambda)$ :n painotuskertoimet on määritetty VNa 146/2010:n liitteessä 1, taulukossa 1.3.

## 9.2 Tulokset

Mittausdatan pohjalta lasketut suureet on esitetty liitteissä 1-5. Taulukoiden ensimmäisessä sarakkeessa on esitetty mittauspiste. Mittauspisteet ovat merkattu muotoon X-Y, jossa ensimmäinen luku ilmaisee pisteen, jossa mittauslaite on sijainnut. Toinen luku ilmaisee, monesko pisteessä suoritettu mittaus on. Seuraava sarake taulukossa ilmaisee, millä korkeudella mittaus on suoritettu. Korkeus on mitattu spektrometrin integroivan pallon linssin keskeltä maahan. Kolmas sarake ilmaisee kuinka kaukana linjastosta mittauspiste sijaitsee. Etäisyys on mitattu kohtisuorasti, lyhintä reittiä, linjastoon jota mitataan. Arvo ei kerro suoraan kuinka lähellä lähin lamppu on ollut, vaan sen tarkoitus on helpottaa mittauspisteiden sijainnin hahmottamisessa.

Seuraavissa kahdessa sarakkeessa on mittausdatan pohjalta laskettu  $H_{eff}$  -arvo, eli mittauspisteeseen saapuva efektiivinen UV-alueen säteily. Arvot on laskettu kahdeksan ja yhden tunnin altistumisajoilla. Seuraavissa kahdessa sarakkeessa on laskettu pisteeseen saapuva UV-A -alueen efektiivinen säteily,  $H_{UVA}$ . Tämäkin arvo on laskettu

kahdeksan ja yhden tunnin altistumisajoilla. Näissä kahdessa arvossa kahdeksan tunnin arvo kuvastaa tilannetta jossa mittauspisteellä oleillaan kokonainen työvuoro. Raja-arvo ei saisi ylittyä tässä ajassa, jos alueella oleskelua ei ole erikseen rajoitettu. Yhden tunnin arvo kuvastaa todellisempaa tilannetta, jossa lamppujen läheisyydessä oleskellaan useita lyhyempiä jaksoja kahdeksan tunnin työvuoron aikana. Raja-arvon ylittyessä jo tunnin altistumisajalla, ovat altistumismäärät suuria ja alueella vaaditaan suojautumistoimenpiteitä. Taulukon viimeisessä sarakkeessa on laskettu  $E_b$  -arvo, joka on suuntaa-antava sinisen valon (300 nm - 700nm) efektiivinen radianssi. Raja-arvon ylittyessä on mahdollista, että pisteeseen saapuu silmille haitallisia määriä sinistä valoa.

## 10 JOHTOPÄÄTÖKSET JA KEHITYSIDEAT

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää pintakäsittelylinjoilla tapahtuva optiselle säteilylle altistuminen. Linjastoilla suoritettujen mittausten perusteella laskettiin VNa 146:ssa määrätty säteilyaltistusta mittaavat suureet ja mittaustulosten pohjalta laskettuja arvoja verrattiin VNa:ssa asetettuihin raja-arvoihin.

Raja-arvot UV-alueella ( $H_{eff}$ ) ylittyivät useilla mittauspisteillä. Kuopion tehtaalla raja-arvot ylittyivät kahdeksan tunnin altistumisajalla lähes jokaisessa pisteessä ja tunnin altistumisajalla noin puolessa pisteistä. UV-A -alueen raja-arvot eivät ylittyneet yhdessäkään mittauspisteessä ja altistuminen oli raja-arvoon nähden vähäistä. Sinisen valon ( $E_b$ ) raja-arvo ylittyi myös valtaosassa pisteistä.

Tuupovaaran tehtaalla mittaustulokset olivat vastaavia Kuopion kanssa tapauksissa, joissa kuivausyksiköiden suuaukkoja ei ollut suojattu. Tapauksissa joissa suuaukko oli suojattu, säteilyarvot oli huomattavasti pienempiä. Yksinkertaisilla suojauksilla, joissa noin puolet suuaukon pinta-alasta oli peitetty, raja-arvot eivät ylittyneet edes kahdeksan tunnin altistumisajalla. Tästä voidaan päätellä suuaukon pinta-alalla olevan suuri merkitys ympäristöön pääsevän optisen säteilyn määrään. Kuivainten rakenteesta johtuen, lamput sijaitsevat yksikön yläosassa, hieman suuaukon yläreunan alapuolella. Kun suu-aukon yläosa peitetään, ympäristöön ei pääse säteilyä suoraan lampuista. Ympäristöön pääsevä heijastunut optinen säteily on menettänyt suuren osan energiastaan absorboitumisena heijastuspintoihin, sekä sironnan vaikutuksesta. Mitä suurempi osa suuaukon pinta-alasta saadaan peitettyä, sitä pienempää ympäristöön pääsevän optisen säteilyn määrä voidaan olettaa olevan.

Koska spektrometriin ei ollut saatavilla kalbroidintidataa välille 200 nm - 249 nm, mittauksista jäi puuttumaan aallonpituusalue 180 nm - 249 nm, joka on säteilyn haitallisuuden kannalta merkittävä, mutta säteilylähteiden säteilyspektreistä johtuen hyvin vähäinen. Aallonpituusalueella 180 nm - 249 nm käytettiin samaa efektiivisen irradianssin arvoa kuin 250 nm:n aallonpituudella. Näin saatiin alue huomioitua säteilyaltistuksessa. Säteilylähteiden säteilyspektreistä johtuen käytetty arvo on suurempi kuin todellinen säteily ko. välillä. Säteilymäärät alhaisilla aallonpituuksilla ovat kuitenkin niin vähäisiä, että tällä ei ole minkäänlaista merkitystä kokonaissäteilyaltistukselle.

Ympäristöön pääsevää säteilyä voitaisiin vähentää huomattavasti – luultavasti turvaliselle tasolle – suojaamalla kuivatusyksiköiden suuaukot mahdollisimman hyvin.

Kuivausyksiköiden suuaukot tulisi suojata lämpöä, UV-säteilyä ja pintakäsittelykemi-  
kaaleja kestäväällä materiaalilla. Suuaukot tulisi peittää niin hyvin kuin mahdollista,  
prosessia häiritsemättä. Jos suuaukkoa ei voida peittää prosessista johtuen, tulisi  
suojaus järjestää linjastojen sivuille tai rajoittaa alueella oleskelu minimiin.

## LÄHTEET

1. *Konsernin esittely* [verkkodokumentti]. Karelia-Upofloor Oy 2011 [viitattu 23.3.2011].  
Saatavissa: [http://www.kareliaupofloor.fi/kuf-fi/sivut/yhtymän\\_esittely/](http://www.kareliaupofloor.fi/kuf-fi/sivut/yhtymän_esittely/)
2. Pastila, R. Säteilyturvakeskus. 2009. *Ultravioletti- ja lasersäteily*. Kariston Kirjapaino Oy.
3. Euroopan parlamentti ja neuvosto. 5.4.2006. *Direktiivi 2006/25/ey terveyttä ja turvallisuutta koskevista vähimmäisvaatimuksista työntekijöiden suojelemiseksi altistumiselta fyysisistä tekijöistä (keinotekoinen optinen säteily) aiheutuville riskeille*.
4. *Ultraviolettisäteily (UV) ja sen vaikutus ihmiseen*. [Verkkodokumentti] Duodecim terveyskirjasto 2010. [viitattu 26.3.2011]. Saatavissa:  
[http://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p\\_artikkeli=dlk00682](http://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=dlk00682)
5. *Mitä ovat UV-säteily ja UV-indeksi?* [verkkodokumentti]. Ilmatieteen laitos [viitattu 27.3.2011]. Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/ultraviolettisateily>
6. *Ihotyyppin sietokyky vaihtelee* [verkkodokumentti]. Säteilyturvakeskus 2009 [viitattu 28.3.2011]. Saatavissa:  
[http://www.stuk.fi/sateilytietoa/sateilyn\\_terveysvaikutukset/uv\\_sateily\\_fi\\_FI/sietokyky/](http://www.stuk.fi/sateilytietoa/sateilyn_terveysvaikutukset/uv_sateily_fi_FI/sietokyky/)
7. *Otsoni* [verkkodokumentti]. Ilmatieteen laitos [viitattu 28.3.2011]. Saatavissa:  
<http://ilmatieteenlaitos.fi/otsoni>
8. Hannuksela, M. 2006. *Hyvä, paha aurinko*. Helsinki. Kustannus Oy Duodecim.
9. *UV-curing principle* [verkkodokumentti]. [www.uv-curing.com](http://www.uv-curing.com) > Principle [viitattu 5.4.2011] Saatavissa: <http://uv-curing.com/principle/index.htm>
10. Hannuksela, M. 2009. *UV-B säteily* [verkkodokumentti]. Duodecim terveyskirjasto [viitattu 7.4.2011].  
Saatavissa:  
[http://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p\\_artikkeli=hpa00009](http://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=hpa00009).
11. *Cataracts* [verkkodokumentti]. Riverside 2010 [viitattu 11.4.2011]. Saatavissa [http://www.riversideonline.com/health\\_reference/Eye/DS00050.cfm](http://www.riversideonline.com/health_reference/Eye/DS00050.cfm) > Causes > How cataracts obscures vision
12. Suomen Standardisoimisliitto SFS Oy, 26.9.2005. *Standardi SFS-EN 14255-1*.
13. Penope Oy. 2011. Laitevalmistajan tekniset tiedot.

LIITE 1 Kuopion tehtaan lakkalinjan mittaustulokset 8.6.2011

MITTAUSPISTE	MITTAUSKORKEUS (m)	ETÄISYYS LINJASTA (m)	H <sub>eff</sub> (J/m <sup>2</sup> ) 8h	H <sub>eff</sub> (J/m <sup>2</sup> ) 1h	H <sub>uva</sub> (J/m <sup>2</sup> ) 8h	H <sub>uva</sub> (J/m <sup>2</sup> ) 1h	E <sub>b</sub> (W/m <sup>2</sup> )
1-1	0,95	0,65	<b><u>283,509</u></b>	<b><u>35,439</u></b>	349,319	43,665	<b><u>0,012</u></b>
1-2	1,6	0,65	<b><u>109,265</u></b>	13,658	115,094	14,387	0,007
2-1	0,95	0,65	<b><u>787,212</u></b>	<b><u>98,401</u></b>	976,671	122,084	<b><u>0,028</u></b>
2-2	1,6	0,65	<b><u>142,811</u></b>	17,851	129,913	16,239	0,008
3-1	0,95	0,65	<b><u>1295,470</u></b>	<b><u>161,934</u></b>	1598,342	199,793	<b><u>0,039</u></b>
3-2	1,6	0,65	<b><u>146,674</u></b>	18,334	134,235	16,779	0,007
4-1	0,95	0,65	<b><u>302,475</u></b>	<b><u>37,809</u></b>	355,858	44,482	<b><u>0,011</u></b>
4-2	1,6	0,65	<b><u>142,174</u></b>	17,772	122,586	15,323	0,009
5-1	0,95	0,65	<b><u>462,051</u></b>	<b><u>57,756</u></b>	572,801	71,600	<b><u>0,016</u></b>
5-2	1,6	0,65	<b><u>147,763</u></b>	18,470	129,495	16,187	0,007
6-1	0,95	3	<b><u>140,747</u></b>	17,593	128,295	16,037	<b><u>0,011</u></b>
6-2	1,6	3	<b><u>140,758</u></b>	17,595	130,762	16,345	<b><u>0,012</u></b>
7-1	0,95	3	<b><u>144,792</u></b>	18,099	135,165	16,896	<b><u>0,011</u></b>
7-2	1,6	3	<b><u>145,562</u></b>	18,195	135,641	16,955	<b><u>0,012</u></b>
8-1	0,95	3	<b><u>145,093</u></b>	18,137	154,525	19,316	<b><u>0,012</u></b>
8-2	1,6	3	<b><u>159,606</u></b>	19,951	142,722	17,840	<b><u>0,013</u></b>
9-1	0,95	3	<b><u>259,565</u></b>	<b><u>32,446</u></b>	272,542	34,068	<b><u>0,015</u></b>
9-2	1,6	3	<b><u>147,585</u></b>	18,448	161,017	20,127	<b><u>0,012</u></b>
10-1	0,95	3	<b><u>199,701</u></b>	24,963	197,279	24,660	<b><u>0,013</u></b>
10-2	1,6	3	<b><u>164,059</u></b>	20,507	161,067	20,133	<b><u>0,013</u></b>
H <sub>eff</sub> 8h raja-arvo	30 J/m <sup>2</sup>						
H <sub>uva</sub> 8h raja-arvo	10 000 J/m <sup>2</sup>						
E <sub>b</sub> raja-arvo	0,01 W/m <sup>2</sup> , kun t > 10 000s	(HUOM! E <sub>b</sub> suuntaa-antava.)					



LIITE 2 Kuopion tehtaan hiomalinjan mittaustulokset 8.6.2011

MITTAUSPISTE	MITTAUS-KORKEUS (m)	ETÄISYYS LINJASTA (m)	$H_{eff}$ (J/m <sup>2</sup> ) 8h	$H_{eff}$ (J/m <sup>2</sup> ) 1h	$H_{uva}$ (J/m <sup>2</sup> ) 8h	$H_{uva}$ (J/m <sup>2</sup> ) 1h	$E_b$ (W/m <sup>2</sup> )
k1-1	0,95	0,4	<b><u>167,564</u></b>	20,946	150,000	18,750	0,008
k2-1	0,95	0,6	<b><u>256,756</u></b>	<b><u>32,095</u></b>	238,261	29,783	<b><u>0,011</u></b>
k3-1	0,95	0,7	<b><u>226,854</u></b>	28,357	204,844	25,605	<b><u>0,014</u></b>
k4-1	0,95	0,25	<b><u>316,180</u></b>	<b><u>39,522</u></b>	286,542	35,818	<b><u>0,022</u></b>
k5-1	0,95	3,5	<b><u>199,387</u></b>	24,923	185,104	23,138	<b><u>0,018</u></b>
k5-2	1,6	3,5	<b><u>180,216</u></b>	22,527	185,943	23,243	<b><u>0,020</u></b>
$H_{eff}$ 8h raja-arvo	30 J/m <sup>2</sup>						
$H_{uva}$ 8h raja-arvo	10 000 J/m <sup>2</sup>						
$E_b$ raja-arvo	0,01 W/m <sup>2</sup> , kun t > 10 000s (HUOM! $E_b$ suuntaa-antava.)						

LIITE 3 Kuopion tehtaan öljylinjan mittaustulokset 8.6.2011

MITTAUSPISTE	MITTAUS-KORKEUS (m)	ETÄISYYS LINJASTA (m)	$H_{eff}$ (J/m <sup>2</sup> ) 8h	$H_{eff}$ (J/m <sup>2</sup> ) 1h	$H_{uva}$ (J/m <sup>2</sup> ) 8h	$H_{uva}$ (J/m <sup>2</sup> ) 1h	$E_b$ (W/m <sup>2</sup> )
o1-1	0,95	0,4	<b><u>144,839</u></b>	18,105	174,956	21,870	<b><u>0,020</u></b>
o1-2	1,6	0,4	<b><u>140,773</u></b>	17,597	159,433	19,929	<b><u>0,018</u></b>
o2-1	0,95	1,2	<b><u>807,990</u></b>	<b><u>100,999</u></b>	1130,210	141,276	<b><u>0,041</u></b>
o2-2	1,6	1,2	<b><u>167,921</u></b>	20,990	195,233	24,404	<b><u>0,019</u></b>
o3-1	0,95	1	<b><u>174,452</u></b>	21,806	153,164	19,146	<b><u>0,015</u></b>
o3-2	1,6	1	<b><u>182,508</u></b>	22,814	185,636	23,205	<b><u>0,017</u></b>
o4-1	0,95	0,8	<b><u>576,308</u></b>	<b><u>72,038</u></b>	929,714	116,214	<b><u>0,032</u></b>
o4-2	1,6	0,8	<b><u>160,738</u></b>	20,092	180,148	22,518	<b><u>0,017</u></b>
o5-1	0,95	0,85	<b><u>225,083</u></b>	28,135	222,761	27,845	<b><u>0,014</u></b>
o5-2	1,6	0,85	<b><u>213,711</u></b>	26,714	206,217	25,777	<b><u>0,014</u></b>
o6-1	0,95	2,2	27,882	3,485	50,705	6,338	0,010
o6-2	1,6	2,2	<b><u>268,830</u></b>	<b><u>33,604</u></b>	235,860	29,483	<b><u>0,016</u></b>
o7-1	0,95	3,3	<b><u>168,707</u></b>	21,088	161,917	20,240	<b><u>0,013</u></b>
o7-2	1,6	3,3	<b><u>194,235</u></b>	24,279	173,658	21,707	<b><u>0,014</u></b>
o8-1	0,95	4,1	<b><u>168,707</u></b>	21,088	161,917	20,240	<b><u>0,013</u></b>
o8-2	1,6	4,1	<b><u>194,235</u></b>	24,279	173,658	21,707	<b><u>0,014</u></b>
$H_{eff}$ 8h raja-arvo	30 J/m <sup>2</sup>						
$H_{uva}$ 8h raja-arvo	10 000 J/m <sup>2</sup>						
$E_b$ raja-arvo	0,01 W/m <sup>2</sup> , kun t > 10 000s	(HUOM! $E_b$ suuntaa-antava.)					

LIITE 4 Tuupovaaran tehtaan lakkalinjan mittaustulokset 29.6.2011

MITTAUSPISTE	MITTAUS-KORKEUS (m)	ETÄISYYS LINJASTA (m)	$H_{\text{eff}}$ (J/m <sup>2</sup> ) 8h	$H_{\text{eff}}$ (J/m <sup>2</sup> ) 1h	$H_{\text{uva}}$ (J/m <sup>2</sup> ) 8h	$H_{\text{uva}}$ (J/m <sup>2</sup> ) 1h	$E_b$ (W/m <sup>2</sup> )
tl1-1	0,95	0,7	<b>434,326</b>	<b>54,291</b>	638,899	79,862	<b>0,020</b>
tl1-2	1,6	0,7	<b>70,372</b>	8,797	56,693	7,087	0,003
tl2-1	0,95	0,7	<b>457,826</b>	<b>57,228</b>	694,672	86,834	<b>0,027</b>
tl2-2	1,6	0,7	9,055	1,132	53,834	6,729	<b>0,017</b>
tl3-1	0,95	1,8	<b>231,080</b>	28,885	356,274	44,534	<b>0,017</b>
tl3-2	1,6	1,8	<b>81,290</b>	10,161	122,358	15,295	<b>0,012</b>
tl4-1	0,95	1,1	26,070	3,259	39,313	4,914	0,003
tl4-2	1,6	1,1	<b>80,639</b>	10,080	74,683	9,335	0,004
tl5-1	1,1	0,3	<b>92,795</b>	11,599	136,356	17,045	0,005
tl6-1	1,1	0	13,189	1,649	31,061	3,883	0,003
tl7-1	0,95	0,35	5,605	0,701	10,859	1,357	0,011
tl7-2	1,6	0,35	7,641	0,955	16,744	2,093	<b>0,017</b>
tl8-1	0,95	0,5	18,835	2,354	25,311	3,164	0,008
tl8-2	1,6	0,5	8,344	1,043	12,993	1,624	<b>0,012</b>
tl9-1	0,95	0,6	7,887	0,986	14,084	1,761	<b>0,011</b>
tl9-2	1,6	0,6	6,995	0,874	14,524	1,815	<b>0,012</b>
tl10-1	0,95	0,4	<b>109,441</b>	13,680	270,935	33,867	<b>0,025</b>
tl11-1	1,6	2,1	7,106	0,888	14,770	1,846	0,008
tl12-1*	0,95	0	<b>3462,960</b>	<b>432,870</b>	3208,140	401,018	<b>0,086</b>
tl13-1*	0,95	1,6	<b>324,594</b>	<b>40,574</b>	492,843	61,605	<b>0,019</b>
tl14-1*	0,95	3	<b>120,931</b>	15,116	181,731	22,716	0,008
* (mittauspisteet eivät sijaitse työalueella.)							
$H_{\text{eff}}$ 8h raja-arvo	30 J/m <sup>2</sup>						
$H_{\text{uva}}$ 8h raja-arvo	10 000 J/m <sup>2</sup>						
$E_b$ raja-arvo	0,01 W/m <sup>2</sup> , kun t > 10 000s (HUOM! $E_b$ suuntaa-antava.)						

LIITE 5 Tuupovaaran tehtaan hiomalinjan mittaustulokset 29.6.2011

MITTAUSPISTE	MITTAUS-KORKEUS (m)	ETÄISYYS LINJASTA (m)	H <sub>eff</sub> (J/m <sup>2</sup> ) 8h	H <sub>eff</sub> (J/m <sup>2</sup> ) 1h	H <sub>uva</sub> (J/m <sup>2</sup> ) 8h	H <sub>uva</sub> (J/m <sup>2</sup> ) 1h	E <sub>b</sub> (W/m <sup>2</sup> )
tk1-1	1,1	0,4	12,497	1,562	25,392	3,174	0,005
tk1-2	1,6	0,4	12,976	1,622	30,407	3,801	0,006
tk2-1	1,1	0,3	7,825	0,978	29,022	3,628	<b>0,011</b>
tk2-2	1,6	0,3	8,181	1,023	27,521	3,440	<b>0,012</b>
tk3-1	1,1	0,3	24,645	3,081	40,400	5,050	0,007
tk3-2	1,6	0,3	7,706	0,963	23,967	2,996	0,007
tk4-1	1,1	0,3	<b>143,739</b>	17,967	290,576	36,322	<b>0,014</b>
tk4-2	1,6	0,3	7,660	0,957	19,235	2,404	0,005
tk5-1	1,6	3	7,792	0,974	29,291	3,661	<b>0,012</b>
tk6-1	1,6	3	15,809	1,976	30,081	3,760	0,006
H <sub>eff</sub> 8h raja-arvo	30 J/m <sup>2</sup>						
H <sub>uva</sub> 8h raja-arvo	10 000 J/m <sup>2</sup>						
E <sub>b</sub> raja-arvo	0,01 W/m <sup>2</sup> , kun t > 10 000s (HUOM! E <sub>b</sub> suuntaa-antava.)						