

Liisa Junninen

# Ksenon-testauksen edut UV-testaukseen verrattuna

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Materiaali- ja pintakäsittelytekniikka

Insinööriytyö

14.9.2016

Tekijä Otsikko	Liisa Junninen Ksenon-testauksen edut UV-testaukseen verrattuna
Sivumäärä Aika	52 sivua + 2 liitettä 14.9.2016
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Materiaali- ja pintakäsittelytekniikka
Ohjaaja	Lehtori Arto Yli-Pentti
<p>Tämän insinööriyön tavoitteena oli tutkia ksenon-testauksen etuja verrattuna UV-testaukseen. Insinööriyö tehtiin Metropolia Ammattikorkeakoululle.</p> <p>Tätä insinööriyötä varten käytiin läpi standardit säärasitustestaukseen liittyen ja tehtiin haastattelututkimus maalaamoissa toimijoille. Lisäksi suoritettiin kokeellinen osuus ksenon- ja UV-testauksen vertailujen tueksi.</p> <p>Kokeellista osuutta varten tehtiin koesuunnitelma ja koe suoritettiin vesi- sekä liuotinhohen- teisella maalilla maalatuilla koepaloilla, jotka asetettiin UV-kaappiin, ksenon-kaappiin ja verrokkina pidettiin pimeään tilan kappaleita. Tarkoituksena oli todentaa ksenon-testauksen tehokkuutta UV-testaukseen verrattuna, kun tutkinnanalaisena ovat värisävy ja kiilto. Li- säksi tavoitteena oli tutkia poikkeavuuksia maalityyppien kesken.</p> <p>Tuloksiksi saatiin odotettuja arvoja, jotka tukevat ksenon-testauksen toimivuutta, kun halu- taan pitäviä tuloksia säärasituskestosta esimerkiksi värisävyn pysyvyyden suhteen.</p> <p>Ksenon-testauksen tehokkuuden taustalla on ksenonin kyky tuottaa laboratorio- olosuhteissa todenmukaisempi auringonvalon spektri kuin UV-testauksessa. Tätä työtä varten tehdyssä tutkimuksessa selvisi myös, että ksenon-testaus tulee tuskin syrjäyttä- mään kokonaan UV-testausta, vaan menetelmiä sovelletaan tilanteesta riippuen.</p>	
Avainsanat	säärasitusolosuhteet, uv, ksenon

Author Title	Liisa Junninen Advantages of xenon testing versus UV testing
Number of Pages Date	52 pages + 2 appendices 14 September 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Materials Technology and Surface Treatment Engineering
Instructor	Arto Yli-Pentti, Senior Lecturer
<p>The purpose of this thesis was to research benefits of xenon testing when compared to UV-testing. This thesis was made for Metropolia University of Applied Sciences.</p> <p>For this thesis, standards related to weather condition testing and interviews of professionals were studied. Furthermore, an experimental test was made to support the comparison between xenon and UV testing.</p> <p>For the experimental part, an experimental plan was made. The experiment was performed by using samples painted with water and solvent-based paints. The purpose of the experiment was to verify the efficiency of xenon testing when compared to that of UV testing. The parameters under investigation were gloss and color. Also, the aim was to investigate whether there are irregularities between the paint types.</p> <p>The results of the experiment were as expected and they support the supposition of xenon testing's functionality when tenable results on the effects of weathering conditions are needed, for example, concerning color stability. The reason for testing the effectiveness of xenon was xenon's ability to produce a more realistic sunlight spectrum in laboratory conditions than it is possible in UV testing. On the basis of the results of this thesis, it can be said that xenon testing will probably not totally replace UV testing; both methods will be applied as needed.</p>	
Keywords	weatherconditions, uv, xenon

## Sisällys

1	Aiheen esittely	1
2	Ksenon	2
2.1	Isotoopit	2
2.2	Käyttökohteet	2
3	Ultravioletisäteily	3
4	Säätöolosuhteiden altistaminen	4
4.1	Periaate	4
4.2	Haitallisimmat komponentit	5
4.2.1	Valo	6
4.2.2	Korkea lämpötila	6
4.2.3	Kosteus	7
4.3	Testiaika	7
4.4	Säätöolosuhteisiin liittyvät virhemahdollisuudet	8
4.5	Testaukseen liittyviä virhemahdollisuudet	9
4.5.1	Työn suoritus	9
4.5.2	Käytetyt materiaalit	9
4.5.3	Testipalojen pinnoitus	10
4.5.4	Mittalaitteet	10
4.5.5	Mittaukset	10
4.5.6	Työympäristö	11
4.6	Yleisin nopeutettujen säätöolosuhteiden testimenetelmä	11
4.7	Polttimoiden käyttö	11
4.7.1	UVA	12
4.7.2	UVB	12
4.7.3	Ksenon	13
5	Ksenon-testaus	14
5.1	Historia	14
5.2	Menetelmä	14
5.3	Laitteet	15
6	UV-testaus	17
7	Ksenon- ja UV-testauksen standardit	18

7.1	Alustustyöt	18
7.2	Säärasituksille altistaminen	19
7.2.1	Yleinen ohjeistus	20
7.2.2	Rasitus ksenon-valolla	21
7.2.3	Rasitus UV-valolla	21
7.2.4	Olosuhteiden määrittäminen	21
7.3	Muovien testaus	22
7.4	Pintojen ja materiaalin arviointi sekä mittaukset	22
7.4.1	Visuaalinen arviointi	23
7.4.2	Tartuntalujuus	23
7.4.3	Kalvonpaksuus	23
7.4.4	Kiilto	24
7.4.5	Väri	24
8	Ksenon-testauksen edut verrattuna UV-testaukseen	25
8.1	Aallonpituus	25
8.2	Polttimot	25
8.3	Käyttöskala	25
8.3.1	Valon aallonpituus	25
8.3.2	Kosteus	26
8.4	Testipalat ja niiden mittaukset	26
8.5	Ympäristöystävällisyys	27
8.6	Taloudellisuus	27
9	Haastattelututkimus	28
9.1	Esitetyt kysymykset	28
9.2	Tulokset	28
10	Kokeellinen osuus	30
10.1	Johdanto ja työn tarkoitus	30
10.2	Alkuvalmistelut ja työn toteutus	30
10.3	Käytetyt laitteet	31
10.4	Kosteuden kontrollointi	31
10.5	Käytetyt sääolosuhdesykliit	31
10.6	Työn tulokset ja tulosten analysointi	32
10.6.1	Ulkonäkö	32
10.6.2	Värisävy	34

10.6.3	Kiilto	37
10.7	Virhemahdollisuudet	39
10.7.1	Maalaustyö	39
10.7.2	Maalipinta	39
10.8	Työn arviointi	39
11	Lopuksi	40
12	Lähteet	41
	Liitteet	46
	Liite 1. Koesuunnitelma	
	Liite 2. Mittaustulokset	

## 1 Aiheen esittely

Valo, korkea lämpö ja kosteus voivat aiheuttaa materiaalien, pinnoitteiden, väriaineiden ja muiden orgaanisten aineiden tuhoa ja vahinkoa. Tuho ja vahinko voivat olla kiillon menetystä, kellastumista, halkeilua, kuoriutumista, haurastumista, vetolujuuden heikkenemistä ja delaminointia. Myös sisävalaistus ja auringonvalo ikkunalasin läpi voivat hajottaa joitakin materiaaleja ja aiheuttaa esimerkiksi värinmuutoksia.

Useille valmistajille on tärkeää kehittää ja valmistaa tuotteita, jotka kestävät sääolosuhteita ja valolle altistusta. Nopeutettu sääolosuhdetestaus ja valotestaus ovat laajalti käytettyjä tutkintamenetelmiä uudistamisessa, kehittämisessä ja tutkimisessa sekä laadunvalvonnassa ja materiaalien sertifiointissa.

UV- ja ksenon-testaus ovat erittäin paljon käytettyjä sääolosuhdetestausmenetelmiä. Tässä insinööriyössä käsitellään niitä ja niiden eroja, painottaen ksenon-testausta. Työhön on haastateltu maalitehtaissa toimijoita ja tehty testauksia laboratoriossa.

## 2 Ksenon

Ksenonin löysivät englantilaiset William Ramsay ja Morris Travers kesäkuussa vuonna 1898 nesteytetystä ilmasta spektrofotometrian avulla. Ksenon on hajuton ja väritön ei-metallinen jalokaasu. Se on harvinaisin stabiileista jaloista kaasuista ilmakehässä. Ksenonin järjestysluku on 54 ja atomipaino 131,29. Nykyään ksenonia tuotetaan tislamalla nesteytetystä ilmasta. (Xenon Element Facts 2016; Xenon 1995; Scheinin 2002.)

### 2.1 Isotoopit

Ksenonilla tiedetään olevan yhdeksän luonnollisesti ja stabiilisti esiintyvää isotooppia (Xenon: isotope data 2016; Xenon Isotopes). Kaiken kaikkiaan tunnettuja isotooppeja on 48 (Isotopes of Element Xenon).

### 2.2 Käyttökohteet

Ksenonia käytetään mm. lasereissa, erikoislampuissa, tietokonenäytöissä, röntgenputkissa, avaruusteollisuudessa ja lääketieteessä (Scheinin 2002). Ksenonia käytetään myös mm. salamavalloissa ja auringonvaloa simuloivissa tilanteissa, kuten solariumeissa (Xenon 1995).



### 3 Ultraviolettisäteily

Ultraviolettisäteily eli UV-säteily on sähkömagneettista säteilyä aallonpituuksilla 180–400 nm. UV-säteily jaetaan kolmeen osaan: niin kutsuttuun lähi- eli UVA-, UVB- ja niin kutsuttuun kauko- eli UVC-säteilyyn. Suurin osa maapallolle tulevasta UV-säteilystä on lähtöisin auringosta. Tästä säteilystä UVC-säteily ei saavuta maapallon maapintaa, koska otsonikerros imee sen molekulaarisen hapen ja vesihöyryn avulla. Myös osa UVB-säteilystä tuhoutuu saavuttaessaan maan ilmakehän. (What Is Ultraviolet Light 2015.)

UV-säteily voi tuhota ionisaation avulla kemiallisia sidoksia. Esimerkiksi joidenkin pintojen putsauksessa tästä voi olla hyötyä, mutta UV-säteily voi myös vahingoittaa materiaaleja ja elävää kudosta. Monet aineet ja materiaalit pystyvät imemään UV-säteilyä. Absorbtion seurauksena materiaalin elektronit siirtyvät suuremmalle energiatasolle ja siirtyessään takaisin alemmalle optimaalisimmalle energiatasolleen ne vapauttavat energiaa, joka näkyy valona. (What Is Ultraviolet Light 2015.)

Auringonsäteilyn lisäksi UV-lähteitä on kehitetty erilaisiin muotoihin. Keinotekoisia UV-lähteitä ovat mm. elohopeahöyrylamppu, loisteputki ja jotkin laserit. Lisäksi tähdet säteilevät UV-säteilyä. (What Is Ultraviolet Light 2015.)

## 4 Säärasituksille altistaminen

### 4.1 Periaate

Säärasituksille altistamisen periaatteena on luoda haastavat sääolosuhteet testauskaappiin. Maapallolta löytyy seitsemää eri sääolosuhdetta, mutta tässä sääolosuhteilla tarkoitetaan pääasiassa auringonvalon ja vesisateen simulointia. Yleisimmät testausolosuhteet ovat niin kutsuttu Arizona-testaus, jossa on mukana kuuma, kuiva ja UV sekä niin kutsuttu Etelä-Florida -testaus, jossa on mukana kuuma, kostea ja UV. (UV Exposure: Accelerated Weathering 2015.)

Eri testausmenetelmille on eri standardit, jotka kattavat kaiken alustustöistä loppuraportointiin. Kun rasitetaan testattavia asioita, esim. maalipintoja tai materiaaleja, saadaan selville niiden kesto ja sitä myötä saadaan arvioitua niiden käyttöikä. Näin osataan varautua ennaltaehkäisevästi korjaus- ja kunnostustöihin.

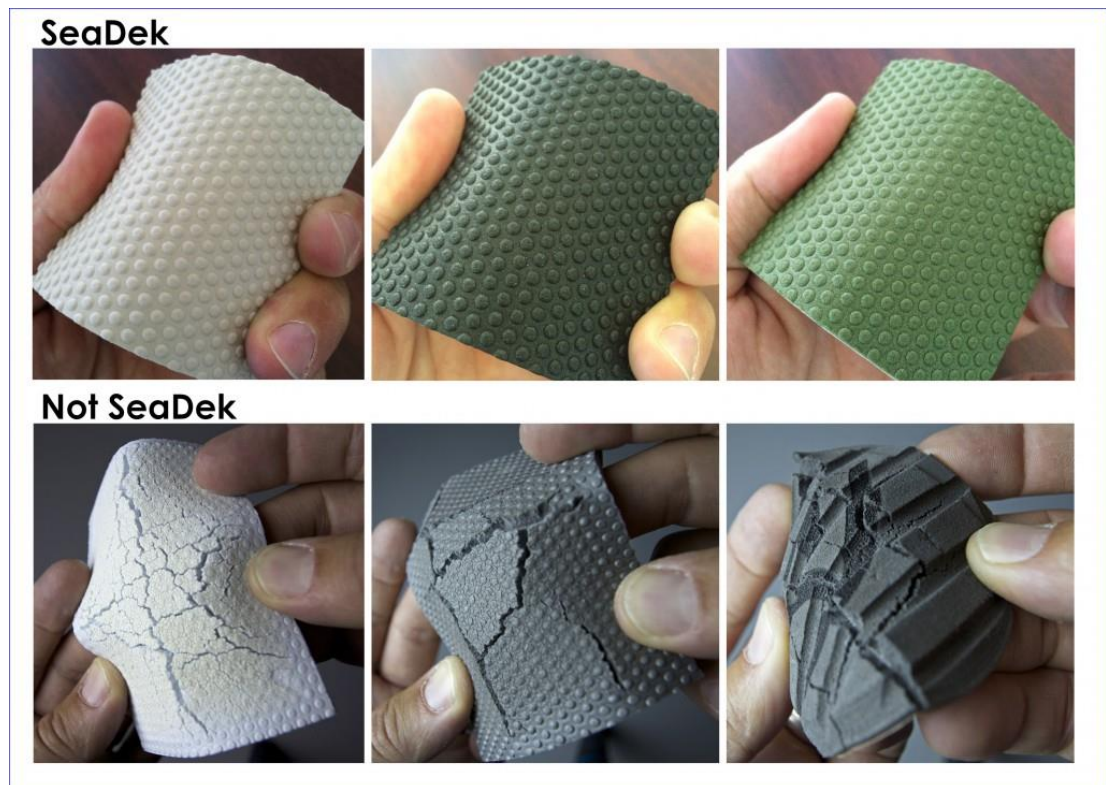
Säärasituksille altistamisen seurauksena testattava materiaali kokee jollain aikavälillä muutoksia. Muutokset voivat olla mekaanisia ja ulkonäöllisiä kuten kiillon menetystä, värinmuutoksia, vetolujuuden heikkenemistä sekä venymä- ja iskukeston muutoksia. Muutokset voivat olla myös kemiallisia. Kemiallisia muutoksia voidaan havainnoida infrapunaspektrometrisesti, elektronien pyörimisresonanssista, kemiluminesenssillä tai lämpöanalyysillä. (Now Guidebook 2016.)

- Infrapunaspektrometria perustuu molekyylien rakenteen tutkimiseen. Tärkeimmät molekyylien rakenteiden säännönmukaisuudet aiheuttavat infrapunasäteilyn emissiota tai absorptiota. Infrapunaspektrometriassa mitataan aineen kyky absorboida eli "imeä" näkymätöntä infrasäteilyä. Käytännössä laite mittaa lähtevän säteilyn ja näytteen läpi päässeän säteilyn voimakkuuksien suhteen, jota nimitetään läpäisysuhteeksi eli transmittanssiksi. (Laboratorioanalyysit.)
- Elektronien pyörimisresonanssi perustuu siihen, että magnetismin avulla saadaan parittomia elektroneja liikkumaan ja niiden siirtymiä mitattua (Electron Spin Resonance 2016).

- Kemiluminesenssi on menetelmä, jossa tuotetaan valoa kemiallisen reaktion avulla. Kahden kemikaalin reagoidessa aineessa olevan atomin elektroni siirtyy energiatasolla ulommalle asteelle ja palaa sitten perustilaansa. Tapahtumassa vapautuu fotoni. Tapahtumassa ei synny paljoa lämpöä, vaan lähinnä valoa. (Science in School 2011; ELISA encyclopedia 2004–2016.)
- Lämpöanalyttisiä menetelmiä on useampia erilaisia, kuten kalorimetrin käyttö. Lämpöanalyysissa voidaan mitata lämpövirtaa, painon putoamista, mittamuutoksia tai mekaanisten ominaisuuksien muutoksia, jotka johtuvat lämmöstä. Mekaanisia muutoksia voivat olla sulaminen, kiteytyminen, lasitransitio, silloittuminen, hapettuminen, hajoaminen, haihtuminen ja lämpölaajenemiskertoinen muuttuminen. Lämpöanalyttisillä kokeilla voidaan tutkia mm. materiaalin suoriutuskykyä lopussa, koostumusta, käsittelyä ja molekyyli-rakennetta sekä liikkuvuutta. (Lämpöanalyysi; Thermal Analyzers 2016.)

#### 4.2 Haitallisimmat komponentit

Materiaaleille kaikkein haitallisinta on valon, korkean lämpötilan ja kosteuden yhdistelmä. Lisäksi suola ja ilmansaasteet nopeuttavat materiaalin vaurioitumista. Esimerkiksi maalattu puujulkisivuinen talo Suomessa haalistuu etelänpuoleiselta sivulta nopeammin, kuin pohjoiselta puolelta. Toinen esimerkki on meren rannassa oleva puinen maalattu penkki, joka haalistuu ja vaurioituu nopeammin, kun sisämaalla oleva samanlainen puinen maalattu penkki. Lisäksi esimerkiksi veneissä vaaditaan materiaaleilta hyvää sääolosuhteiden kestoa. (Kuva 1.)



Kuva 1. Veneen kannen kuluminen sääolosuhteissa (Choosing the right marine non-skid traction pads 2010–2013).

#### 4.2.1 Valo

Valon spektrin herkkyys vaihtelee materiaaleittain. Kestävälle materiaaleille, kuten pinnoitteille ja useille muoveille, lyhyet aallonpituudet aiheuttavat eniten vahinkoa. Vähemmän kestäville materiaaleille, kuten pigmenteille, pitkät aallonpituudet, mukaan lukien myös näkyvä valo, ovat haitallisimpia. (QUV & Q-SUN 2011.)

#### 4.2.2 Korkea lämpötila

Korkean lämpötilan haitat näkyvät yleensä, kun myös valo on mukana. Vaikkakaan lämpötila ei vaikuta ensisijaisesti valokemiallisiin reaktioihin, se vaikuttaa toissijaisesti reaktioihin, joissa tulee sivutuotteita ensisijaisesta fotonista tai elektronien törmäyksestä. Laboratoriossa sääolosuhteita testattaessa pitää lämpötila olla helposti kontrolloitavissa ja tarvittaessa korotettavissa parempien havaintojen saamiseksi. (QUV & Q-SUN 2011.)



Voidaan suuntaa antavasti sanoa, että vuoden sääolosuhteet normaalioloissa saadaan luotua kokeellisesti noin 3–10 päivässä (Jorgensen ym. 2009). Kyky verrata luonnonolojen säteilyvoimakkuutta kokeellisiin esim. ksenon-valolla luotuihin oloihin, voi olla merkittävä työkalu ennustemallien luomisessa ja testiaikaa määrittäessä. Muita malliin vaikuttavia asioita ovat mm. kosteus ja lämpötila sekä toissijaiset vaikutteet kuten saasteet. (Now Guidebook 2016.)

#### 4.4 Sääolosuhteisiin liittyvät virhemahdollisuudet

Säärasituksille altistamisen tulokset ovat suuntaa antavia ja vain verrattavissa normaalioloihin. Ei voida tietää, miten todellisuudessa sääolosuhteet asettuvat tai miten pohjatyöt on tehty. Lopputulokseen vaikuttavat myös käytettyjen materiaalien kunto ja ikä sekä tekijästä riippuvat asiat. (ScientificViewpoint 2016.)

Sääolosuhdetestiä tehdessä täytyy olla tarkkana, että ei hätiköi ja tee turhia oletuksia, jolloin testin vastaavuus haluttuihin olosuhteisiin kärsii. Huonon sääolosuhdevastavuuden syitä ja seurauksia voivat olla mm. seuraavat

- auringonvalon ulkopuoliset lyhyet säteilyt, joista seuraa valokemiallisia muutoksia (Now Guidebook 2016).
- liian pitkät säteilytysajat. Jotkin materiaalit tarvitsevat taukoja, että kemialliset reaktiot onnistuvat. Olisi luonnotonta jättää taukoajat käyttämättä. (Now Guidebook 2016.)
- korkeat säteilyvoimakkuudet, joilla voidaan saada aikaan valokemiallisia muutoksia (Now Guidebook 2016).
- vääränlaiset, yleensä liian korkeat, testilämpötilat, jotka voivat saada aikaan hajoamista, joka ei vastaa normaaleja olosuhteita (Now Guidebook 2016).
- epärealistiset testilämpötilaerot valoisan ja pimeän ajan välillä. Jos säteilylähteenä käytetään vain UV-säteilyä, tulee lämmönvaje, joka johtaa eroihin materiaalin värien ja struktuurin välillä. (Now Guidebook 2016.)

- lämpötilasykliä poisjätö. Tällöin ei saada normaaleja fyysisiä muutoksia aikaan, jotka tulisivat laajentumisen ja supistuksen myötä. (Now Guidebook 2016.)
- vääränlaiset kosteusolosuhteet. Jos kosteutta on liikaa, se voi jättää vähemmän jälkiä ja tuhoa kappaleeseen. Jos kosteutta on liian vähän, ei haluttuja vaikutuksia välttämättä esiinny. (Now Guidebook 2016.)
- saasteiden tai muiden biologisten aineiden puuttuminen. Harvemmin laboratorio-olosuhteissa sääolosuhteita simuloitaessa saasteiden vaikutus on otettu huomioon. On kuitenkin tärkeää muistaa, että niitä luonnossa esiintyy. Joissain paikoissa enemmän ja joissain vähemmän ja niillä mitä todennäköisemmin on vaikutusta testin paikkansapitävyyteen. (Now Guidebook 2016.)

Edellisten lisäksi epätarkkuutta tulokseen voi tuottaa käytetyt suodattimet. Esimerkiksi ikkunalasisuodattimen käyttö ksenon-testauksessa ei aina vastaa todellisuutta mm. siksi, että lasit eivät joka ikkunassa ole samanlaiset. (Now Guidebook 2016.)

#### 4.5 Testaukseen liittyviä virhemahdollisuudet

##### 4.5.1 Työn suoritus

Mitä useampi henkilö suorittaa työn itsenäisesti, sekä mitä useampi toisto tehdään, sitä tarkempia lopputuloksia saadaan. Jos työn tekee vain yksi henkilö yhden kerran, voi hän aina toistaa jonkin vaiheen tuloksia vääristävästi. Lisäksi, mitä useammalla koepalalla työ tehdään, sitä tarkempi lopputulos saadaan. Lopputulosta tarkentaa myös se, jos mittauksia on otettu mahdollisimman monta. Miniminä verrokipalojen ja mittausten lukumääränä pidetään kolmea. Toki työ tulee maksamaan enemmän, jos aikaa ja tarvikkeita kuluu enemmän.

##### 4.5.2 Käytetyt materiaalit

Käytettyjen materiaalien ja välineiden kunto voivat vaikuttaa lopputulokseen. Tietenkin mitä puhtaampaa on, sitä vähemmän ei-toivottuja partikkeleita työhön voi joutua. Esimerkiksi mahdolliset maalaustyössä käytettävät siveltimet tulisi olla mahdollisimman

puhtaat, esimerkiksi suoraan paketista otetut, jottei niistä pääse maaliin tuloksia vääristäviä partikkeleita. Lisäksi esimerkiksi käytettävät maalit tulisi olla avaamattomia, ettei niihin ole joutunut esimerkiksi aikaisemmasta maalaustyöstä laatua haittaavia ainesosia.

#### 4.5.3 Testipalojen pinnoitus

Mitä tasaisempi ja yhteneväisempi pinta tehdään, sitä parempi lopputulos saadaan. Jos testipalat maalataan siveltimellä, voi palojen pintaan jäädä varjokohtia.

#### 4.5.4 Mittalaitteet

Työssä käytetyt mittalaitteet, esim. kiillon- ja värisävyntittauslaitteiden tulisi olla samat joka mittauksella. Näin vältetään mahdollisilta laitteiden välisiltä eroilta. Laitteet tulee kalibroida aina ennen mittauksia ja, jos mahdollista, mittalinssit on puhdistettava. Laitteissa voi silti olla jotain vikaa, joka on voinut vääristää tuloksia: esim. naarmuuntuneet linssit tai epäonnistunut kalibrointi.

Lisäksi ksenon- ja UV-laitteiden tulee toimia virheettää. Ne eivät saa vuotaa, ja niissä olevien polttimoiden sekä muiden laitteiden, kuten vesisumutusjärjestelmän, tulee toimia tasaisesti. Tällöin ei ole väliä, mihin kohtaan palat laitteessa sijoittaa, tai jos niiden paikkaa joutuu muuttamaan.

#### 4.5.5 Mittaukset

Mittaukset, jotka otetaan ennen koetta, tulee ottaa juuri ennen testin aloittamista. Tulosten täsmällisyyttä parannetaan, mikäli jälkimittauksetkin otetaan mahdollisimman lähellä itse testin suorittamista. Värisävyt ja kiillot saattavat muuttua odotteluajanjaksona testauksen ja mittausten välillä etenkin jos niihin kohdistuu valo ja tai muita rasitteita odotteluajanjakson aikana.



#### 4.5.6 Työympäristö

Työympäristö työtä tehdessä tulee olla mahdollisimman puhdas. Esim. maalaustyötä tehdessä pölyä ja muita hiukkasia voi joutua maalipinnalle. Lisäksi lämpötilojen ja kosteusolosuhteiden tulisi olla samat ja vakaat mittausten aikana.

#### 4.6 Yleisin nopeutettujen sääolosuhteiden testimenetelmä

Yleisimmin sääolosuhteiden testaamiseen käytetty menetelmä on ASTM G154. Tässä testauksessa koepalat altistetaan 42 syklille, jotka koostuvat kahdeksasta tunnista UVA-340 säteilystä n. 65 °C:n lämmössä ja neljästä tunnista kosteudelle altistusta n. 50 °C:n lämmössä 21 päivän ajan. Kun testattavat kappaleet altistetaan sateen sijaan kosteudelle, saadaan vaurioita nopeammin. Kosteus jää tutkittavalle pinnalle paremmin ja pidemmäksi aikaa kuin vesisade. Tällöin se pääsee aiheuttamaan enemmän vaurioita mm. päästessään imeytymään pinnan läpi. (UV Exposure: Accelerated Weathering 2015.)

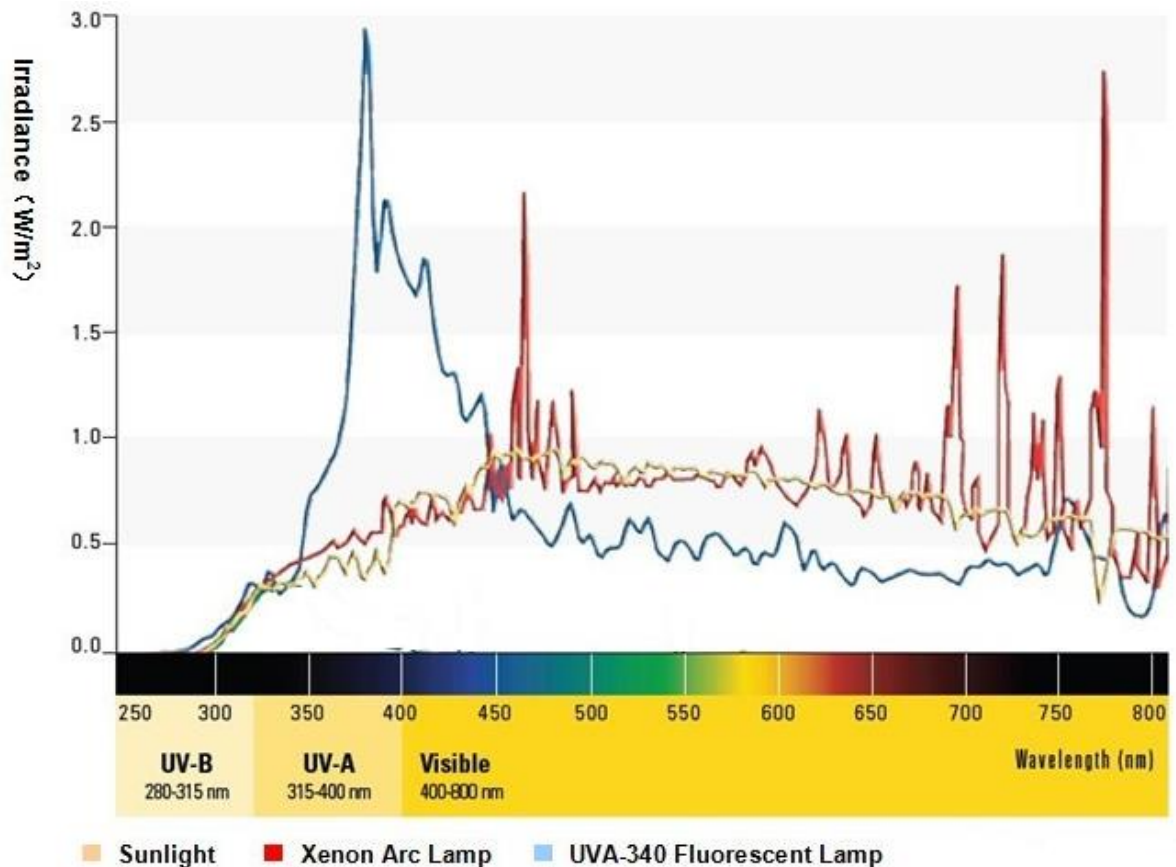
#### 4.7 Polttimoiden käyttö

Sääolosuhdetestauksessa käytettäviä polttimoita on monia eri vahvuuksia. Yleisesti ottaen voidaan sanoa, että

500 tuntia UVB-polttimon alla vastaa noin yhtä vuotta Etelä-Floridan ilmastossa,

1000 tuntia UVA-polttimon alla vastaa noin yhtä vuotta Etelä-Floridan ilmastossa ja

1000 tuntia ksenon-polttimon alla vastaa noin yhtä vuotta Etelä-Floridan ilmastossa. Kuvasta 2 nähdään UVB- UVA- ja ksenon-säteilyjen voimakkuudet ja aallonpituudet verrattuna auringonvaloon. (UV Exposure: Accelerated Weathering 2015.)



Kuva 2. Säteilivoimakkuudet ja aallonpituudet (Xenon test chamber).

#### 4.7.1 UVA

UVA-säteily saa materiaalin pinnan yleensä kellastumaan ja himmenemään. UVA-polttimoilla saadaan simuloitua päivänvaloa ja valoa ikkunalasin läpi. (UV Exposure: Accelerated Weathering 2015.)

#### 4.7.2 UVB

UVB-säteily haurastuttaa ja vanhentaa tutkittavaa pintaa, mitä pääsääntöisesti ei tapahdu ulko-olosuhteissa. UVB-polttimot voivat nopeuttaa polymeerien hajoamista. (UV Exposure: Accelerated Weathering 2015.)

#### 4.7.3 Ksenon

Ksenon-polttimot ovat kykeneväisimpiä luomaan luonnollisen auringonvalon spektrin ja tällöin tehokkaimpia eri sääolosuhdepolttimoista. Ksenon-polttimoilla pystytään simuloimaan myös sisälle tulevaa auringonsäteilyä. (UV Exposure: Accelerated Weathering 2015.)

## 5 Ksenon-testaus

### 5.1 Historia

Ensimmäinen sääolosuhteilla rasittava laboratoriokone, joka käyttää ksenon-valoa, keksittiin vuonna 1954. Oikein suodatettu ksenon-valo simuloi UV- ja näkyvää valoa paremmin, kuin muut aikaisemmin. Testausta alettiin laajalti suosimaan tekstiili-, polymeeri-, maali- ja autoteollisuudessa. (Atlas 2001.)

### 5.2 Menetelmä

Ksenon-testauksessa tutkittava kappale laitetaan suljettuun tilaan, johon voidaan luoda erilaiset haastavat sääolosuhteet. Tilaan saadaan luotua auringonvaloa simuloivan valon lisäksi kosteutta, lämpöä ja vesisuihkua. Kutakin komponenttia voidaan säätää halutun suuruiseksi ja ne voidaan manipuloida maksimiin. Epärealistisia oloja ei kuitenkaan luoda luotettavien tulosten saamiseksi. (Atlas 2001.) Auringonvaloa ja eri sääolosuhteita voidaan säätää ja muuttaa eri suodattimien ja polttimoiden avulla (QUV & Q-SUN 2011).

Tutkittavia asioita voivat olla mm. korroosion kesto, kiilto, värikylläisyys tai esimerkiksi iskulujuus. Mittaukset tehdään tietyin väliajoin, esim. 500, 1000 ja 2000 tunnin välein aloittamisesta. (Xenon-Arc Accelerated Exposure.)

Ksenon-testauksessa pystytään toteuttamaan koko auringonvalon spektri mukaan lukien ultravioletti-, näkyvä- ja infrapunavalo. Valon aallonpituus on 295–800 nm. Ksenon-valoilla saadaan jäljennettyä erilaisia tilanteita käyttämällä erilaisia suodattimia. Esimerkiksi haitallista vioittavaa valoa ulkona saadaan jäljennettyä yhdenlaisella suodattimella, ja käytettäessä toisenlaista lasisuodatinta, saadaan tehtyä tilanne, joka kuvastaa oloja myös sisällä. (Benefits of Xenon Arc 2011; The Right Choice -UV Fluorescent Testing or Xenon Arc Testing 2006.)

### 5.3 Laitteet

Ksenon-valon lämmittäessä näytteitä myös itse lamppu sekä suodattimet ja ympäröivät komponentit kuumenevat. Jotta ylikuumenemista, vahinkoa tai ennen aikaista laitteen ikääntymistä ei tapahtuisi, ksenon-valolaitteiden kehityksessä on muodostunut kaksi eriytyä: vedellä viilentävä ja ilmalla viilentävä. Viilentymistyyppillä ei ole merkitystä spektriin tai testitulokseen, vaan pelkästään laitteen ulkomuotoon ja optiseen suodatinsysteemiin. (Atlas 2001.)

Laitteesta riippuen näytteet asetetaan vaaka- tai pystysuoraan. Ksenon-laitteiden muotoiluja on erilaisia: esim. kaksi- tai kolmirenkaisia. Tärkeää on saada näytteet niin, että jokaiseen tulee yhtä paljon säteilyä, lämpöä ja kosteutta sekä mahdollista vesisuihkua. (Atlas 2001.)

Ksenon-lamppuja voi olla laitteessa yksi tai useampi. Jokainen lamppu on laitteen sisällä sinetöity kvartsiputkiin. Ksenon-valon spektri saattaa sisältää infrapunasäteilyä ja muuta ei-haluttua auringonvalon spektriä matalampaa säteilyä, joita torjutaan suodattimilla. Suodatinsysteemi riippuu käytetystä ksenon-lampusta. Vesijäähdytteinen ksenon-lamppu on ympäröity optisilla sylinterinmallisilla suodattimilla. Viilentävä vesi virtaa lampun ympärillä viilentäen lampun. Huono puoli on, että vesi imee osan alle 1200 nm:n säteilystä, sekä osan ei-toivotusta infrapunasäteilystä. Ilmaviilenteinen ksenon-lamppu on ympäröity lyhdynmallisilla ja/tai sylinterimäisillä suodattimilla ja lamppu/lamput jäähdytetään ilmavirralla. Suodattimet helpottavat pitämään halutun spektrin. Sylinterisuodattimia on tehty mm. kvartsista ja borosilikaattilasista. (Atlas 2001.)

Ksenon-laitteen sisällä mahdollisesti käytettävän veden täytyy olla puhdasta vettä. Tällöin vältetään korroosiolta laitteen sisällä. Lisäksi jos veteen jää kationeja, anioneja, orgaanisia aineita tai piidioksidia, voi näytteeseen ilmaantua tahroja tai muita jälkiä, joita ei normaaliolosuhteissa ilmestyisi. Veden tulisi sisältää maksimissaan 1 µg/g kiinteitä aineita ja 0,2 µg/g piidioksidia. Tislattu vesi tai ionivaihdetun ja käänteisosmosoidun veden yhdistelmä ovat yleensä käytettyjä vesiä ksenon-laitteissa. (Atlas 2001.)

Ksenon-laitteen sisällä on tila mustalle levyille, jolla voidaan havainnoida levyjen pintalämpötiloja. Tämä on tärkeä osa testausta. Mustan standardipaneelin tilalle voidaan asettaa myös mustaksi paneeliksi kutsuttu lämpötilamittari. Jos testauksessa käytetään vettä, pitäisi vedensuihkutusjakson aikana mustan paneelin lämpötila olla lähes sama

kuin veden lämpötila. Ksenon-testauksessa voidaan käyttää myös valkoiseksi paneeliksi kutsuttua levyä, joka auttaa hahmottaa millä skaalalla lämpötiloissa liikutaan testikappaleiden pinnoilla. Valkoinen paneeli kuvaa lämpötilan ylärajaa. (SFS, Suomen Standardisoimisliitto 2014)

## 6 UV-testaus

UV-testauksessa luodaan rasittavat sääolosuhteet testattavalle kappaleelle hyödyntämällä fluoresoivia UV-polttimoita. Nämä polttimot ovat normaaleiden kylmän valkoisten polttimoiden kaltaisia, mutta niiden spektri on erilainen. UV-testissä voidaan valita UVA- ja UVB-säteilymahdollisuuksista. UVA- ja UVB-säteilyn erona on, millä aallonpituusalueella liikutaan. UVA-säteily on aallonpituuksilla n. 315–380 nm ja UVB-säteilyksi kutsutaan säteilyä, jonka aallonpituus on välillä n. 280–315 nm. UVA- ja UVB-säteilyn lisäksi on olemassa UVC-säteilyä, joka on laboratorio-olosuhteissa käytetyistä UV-säteilyistä harvinaisin. UV-testauksessa laboratorio-olosuhteissa käytetään yleisimmin UVA-polttimoita, jotka säteilevät UVA-aallonpituuksilla olevaa säteilyä. Kuvasta 2 nähdään UVA- ja UVB-säteilyiden erot auringonvalon suhteen. Polttimoiden lasi on pinnoitettu tuottamaan pääasiassa UV-valoa näkyvän infrapunaenergian sijaan. (The Right Choice -UV Fluorescent Testing or Xenon Arc Testing 2006.)

Olemassa on polttimoita eri tarkoituksiin. UVA-340-polttimot ovat yleisimmin käytettyjä A-tyyppin polttimoita, ja ne simuloivat parhaiten lyhyen haitallisimman aallonpituuden valoa eli UVA-spektriä. UVB-polttimoita käytetään myös usein, koska niillä on usein nopeampi vanhentamisvaikutus kuin UVA-polttimoilla, mutta niiden lyhyet aallonpituudet eivät aina saavuta täsmällisiä tuloksia kaikilla materiaaleilla. Yksi yleisesti käytetty UVB-polttimo on UVB-313-polttimo. Tätä polttimoa ei niinkään hyödynnetä simuloimaan auringonvaloa, mutta siitä on hyötyä esimerkiksi verrattaessa kahden materiaalin UV-kestoa. (The Right Choice -UV Fluorescent Testing or Xenon Arc Testing 2006; Types of UV Testing Machines.)

Tutkittavana voivat olla samanlaiset asiat kuin ksenon-testauksessa; kuten pinnoitteen kiilto ja/tai värin kellastuminen. UV-testauksessa saadaan luotua auringonvalon spektri, jossa valon aallonpituus on 300–400 nm. Nämä aallonpituudet ovat haitallisinta materiaalin keston kannalta. Lisäksi voidaan tuottaa samaan tilaan mm. kosteutta. Yleensä rasittavimmat sääolosuhteet saadaan kun yhdistetään UV-valon ja kosteuden lisäksi lämpöä. (The Right Choice -UV Fluorescent Testing or Xenon Arc Testing 2006.)

## 7 Ksenon- ja UV-testauksen standardit

Testaukseen löytyvät standardit ensin pinnoitteen tutkimiseen ja tutkittavan kappaleen valmistamiseen. Standardit löytyvät myös olosuhteiden määrittämiseen ja lopputulosten tutkimiseen sekä arviointiin. (Rakennustuotteiden ja materiaalien ympäristöolosuhdetestaus.)

Standardeihin ja töihin liittyviä termejä sekä niiden selityksiä löytyy standardista SFS-EN ISO 4618 (SFS, Suomen Standardisoimisliitto 2014).

Standardeista voidaan lukea, että eri tilanteisiin voidaan soveltaa eri standardeja ja tiettyjen standardien tiettyjä osia. Alla on lueteltuna standardeja, jotka liittyvän tähän tutkielmaan oleellisin. Lisäksi on poimittu osia, jotka erityisesti soveltuvat tähän insinööriyöhön.

### 7.1 Alustustyöt

SFS-EN ISO 12944 käsittelee teräsrakenteiden korroosionestoa suojamaaliyhdistelmillä. Vaikka standardi SFS-EN ISO 12944 ei kata kaikkia rakennetyyppejä, alustoja ja pinnan esikäsittelyjä, voidaan sitä sovittaessa käyttää myös sellaisissa tapauksissa, joita standardi ei kata. Standardissa tarkastellaan kolmea eri kestävyysluokkaa, jotka ovat alhainen, kohtalainen ja korkea. (SFS, Suomen Standardisoimisliitto 1998.)

Standardi SFS-EN ISO 12944 koostuu kahdeksasta osasta. Tärkeänä poimintana siitä voidaan mainita, että tarvittava pinnoite tulee valita käyttötarkoituksen mukaan. Standardi käsittelee hiili- tai niukka-seosteisen teräksen pintoja ja niiden käsittelyä; esimerkiksi pinnoittamaton teräs, sinkitty pinta tai maalattu pinta. Standardi käsittelee kuutta ilmastorasitusluokkaa ja suojamaaliyhdistelmän tyyppisiä. Standardi SFS-EN ISO 12944 kattaa valikoiman maalituotteita, jotka kuivuvat tai kovettuvat ympäristön olosuhteissa, mutta se ei kata esimerkiksi jauhemaisia pinnoitteita tai uunikuivatettavia pinnoitteita. Se ei myöskään kata pinnoitteita, joiden kuivakalvonpaksuus on yli 2 mm. Standardissa huomautetaan, että kestävyysluokka ei ole "takuu aika". (SFS, Suomen Standardisoimisliitto 1998.)



Standardia SFS-EN ISO 12944 voidaan soveltaa esimerkiksi kun halutaan tietää jonkin tietyn pinnoitteen kestävyysluokka ja tehdä tarvittavat alkuvalmistelut koepalalle. Koepalana voi toimia esimerkiksi pinnoittamaton teräs, joka halutaan maalata kestävästi säärasitusoloja. (SFS, Suomen Standardisoimisliitto 1998.)

Standardissa SFS-EN ISO 1513 käsitellään sitä, miten näytteiden alkutarkastelu ja esikäsitely tehdään. Lisäksi siinä käsitellään, miten maalin, lakan tai vastaavan tuotteen toimituserästä otetuista edustavista näytteistä valmistetaan yhdistelmämalleja. (SFS, Suomen Standardisoimisliitto 2010.)

Standardia SFS-EN ISO 1513 voidaan soveltaa käytännössä niin, että merkitään muistiin aluksi havaittavat näytteen ominaisuudet, jotta voidaan lopussa verrata ja tutkia tuloksia ja miettiä näytteen laadun vaikutuksia lopputulokseen. Esimerkiksi voidaan katsoa, onko näytteen mahdollisella kirkkaudella vaikutusta lopputulokseen. Yleensä pyritään käyttämään mahdollisimman puhtaita näytteitä, eikä esim. geeliytyneitä tai sakkautuneita maaleja saa käyttää ollenkaan. Standardissa myös muistutetaan näytteiden virheettömästä kirjaamisesta. (SFS, Suomen Standardisoimisliitto 2010.)

SFS-EN ISO 1514 käsittelee sitä, millaiset testilevyjen pitää olla ja kertoo, miten ne kuuluvat esivalmistella ennen testaukseen menoa. Esimerkiksi teräspalat tulee esivalmistella niin, että niille tehdään ensin liuotinpesu ja sitten vesipesu. Tämän jälkeen pinta hierretään rikki ja tehdään fosfatoiointi, jonka jälkeen pinta hiekkapuhalletaan. Tällöin saavutetaan teräkselle parhain korrosionestosuoja ja valmiudet pinnoitteen pysyvyydelle. (SFS, Suomen Standardisoimisliitto 2004.)

## 7.2 Säärasituksille altistaminen

Standardi SFS-EN ISO 16474, maalit ja lakat, sisältää kolme osaa. Standardi kuvaa pinnoitteiden altistamisen keinotekoisille säärasituksille ja määrittää menetelmät UV-säteilyn ja veden altistamiselle erilaisissa nopeutetuissa säärasitusolosuhteissa. Ensimmäinen osa on yleistä tietoa, toinen osa ksenon-valolle altistamisesta ja kolmas osa UV-valolle altistamisesta. (SFS, Suomen Standardisoimisliitto 2014b; SFS, Suomen Standardisoimisliitto, 2014c; SFS, Suomen Standardisoimisliitto 2014d.)

### 7.2.1 Yleinen ohjeistus

Standardin SFS-EN ISO 16474 ensimmäisessä osassa 16474-1 käsitellään yleisesti nopeutettua säärasitustestausta ja vaatimuksia sen toteutumiseksi. Standardi antaa ohjeita oikean säärasitustestauksen valintaan. Lisäksi standardi kuvaa yleisiä suorituskykyvaatimuksia ja antaa tietoa tulosten tutkintaan. Standardissa muistutetaan, että verrokkipaloja täytyy olla riittävästi ja pohjatyöt oikein tehtynä. Lisäksi standardissa huomautetaan, että laboratorio-olosuhteissa aikaansaadut säärasituskokeet eivät täysin vastaa normaalioloissa tapahtuvaa säärasitusta ja että säärasitukset ovat erilaisia eri puolilla maailmaa. Standardissa kerrotaan, että tarkkoja ajallisia vastaavuuksia laboratorio-olosuhteissa ja luonnossa tapahtuville sääolosuhteille ei ole. (SFS, Suomen Standardisoimisliitto 2014b.)

Standardin mukaan pääsoveltuvuus laboratorio-olosuhteissa tapahtuvalle säärasituskokeelle on verrata materiaalien suhteellista suorituskykyä rasiolosuhteissa. Testejä voidaan soveltaa esimerkiksi havainnoimaan, ettei laatueroja tiettyjen erien sisällä tai välillä tapahdu. Testi tulee suorittaa niin, että palat, joiden välisiä tietoja halutaan tutkia, tulee testata samaan aikaan samalla rasiolosuhteella, eli niillä täytyy olla sama rasiolosuhteet sekä samat säteily- ja kosteusolosuhteet koko testin ajan. (SFS, Suomen Standardisoimisliitto 2014b.)

Standardissa annetaan vaatimukset soveltuvalle koneelle. Säärasituskoneella tulee olla kyky tuottaa tietty säteily määrä, lämpötila ja kosteus- sekä märkätila. Lisäksi standardissa määritellään koneen osien vaatimukset. Osien vaatimuksissa on mm. määritetty lämpömittarin ominaisuudet ja se, että koneen osien valmistuksessa tulee käyttää ruostumatonta terästä. (SFS, Suomen Standardisoimisliitto 2014b.)

Standardissa mainitaan, että ksenon-testauksessa käytettävän veden on tärkeämpää olla puhdasta, kuin UV-testauksessa käytettävän veden. Tällöin vältetään turhilta tahroilta testikappaleiden pinnassa. Lisäksi standardissa suositellaan mittausten ottamista mahdollisimman nopeasti rasiolosuhteiden jälkeen, ettei testikappaleiden ulkomuoto ehdi muuttua. (SFS, Suomen Standardisoimisliitto 2014b.)

Standardissa kerrotaan yleisellä tasolla aallonpituuksista ja mainitaan eri suodattimien ja lampujen ominaisuuksista todentaa auringonvaloa. Standardissa mainitaan, että loisteputket ovat hyvä valinta, kun halutaan spektrin vastaavan tiettyä UV-alueen au-

ringon säteilyä, kun taas ksenon-lampuilla saadaan tuotettua koko keskimääräisen auringonsäteilyn alue. (SFS, Suomen Standardisoimisliitto 2014b.)

### 7.2.2 Rasitus ksenon-valolla

Standardi SFS-EN ISO 16474-2 käsittelee ksenon-lampuilla aikaansaadun säteilyn säärasitustestauksen menetelmän. Standardissa kerrotaan testimenettely kun halutaan tuottaa päivänvalon aikaansaamia ominaisuuksia tai simuloida päivänvalon aikaansaamia ominaisuuksia ikkunalasin läpi. Lisäksi testiin voidaan lisätä kosteus- tai märkäefekti. Erilaisilla ksenon-lampuilla ja erilaisilla suodattimilla saadaan luotua halutut olosuhteet ja vaatimukset tiettyjen materiaalien testaamiselle. (SFS, Suomen Standardisoimisliitto 2014c.)

Standardissa käydään läpi laitteen toimintoja ja sen osia. Lisäksi standardissa kerrotaan testausolosuhteista ja menettelystä. Standardissa mainitaan esimerkkejä rasitus-sykleistä valon aallonpituuden ja kosteusajan suhteen. (SFS, Suomen Standardisoimisliitto 2014c.)

### 7.2.3 Rasitus UV-valolla

Standardissa SFS-EN ISO 16474-3 käsitellään samoja asioita, kuin standardissa SFS-EN ISO 16474-2, mutta UV-lampuilla tuotettuna. Standardissa käydään läpi testissä käytettävä laitteisto, koepalat, testausolosuhteet ja näytteiden otto. (SFS, Suomen Standardisoimisliitto 2014d.)

### 7.2.4 Olosuhteiden määrittäminen

Olosuhteiden määrittämiseen löytyy standardi SFS-EN ISO 11997, joka koostuu kahdesta osasta. Ensimmäinen osa kuvaa korroosion kestävyuden määrittämistä syklisissä olosuhteissa, kun rasitteena ovat märkä (suolasumu) ja kuiva/kostea. Standardin toinen osio kuvaa korroosion kestävyuden määrittämisen syklisissä olosuhteissa, kun rasitteena on märän suolasumun ja kuiva/kostean lisäksi UV-valo. Standardeissa on annettu ohjeet suolaliuoksen tekemiselle ja rasitusolojen asettamiselle. (SFS, Suomen Standardisoimisliitto 2006; SFS, Suomen standardisoimisliitto 2013.)

Standardia SFS-EN ISO 11997-2 voidaan soveltaa erittäin vaativia sääolosuhteita simuloitaessa. Erityisesti testausmenetelmän on todettu olevan hyödyllinen kun todennetaan ja verrataan syklisen suolasumun sekä lämmön ja valon yhdistelmän kestoa eri pinnoitteilla. Esimerkiksi meri-ilmaston vaikutusten simuloimiseen tämä standardi on toimiva. Standardi ei kuitenkaan kata muiden rasitteiden, kuten ilmansaasteiden mahdollisia vaikutuksia. (SFS, Suomen Standardisoimisliitto 2006; SFS, Suomen standardisoimisliitto 2013.)

### 7.3 Muovien testaus

Tässä insinööriyössä ei keskitytty muovien testaukseen, mutta mainittavaa on, että muovit testauksen kohteina käyttäytyvät huomattavasti eri tavoin, kuin esimerkiksi puu tai metallipalat. Lisäksi ne tarvitsevat yleensä pidemmät testausajat ja erilaiset alkuvalmistelut. Muovien testaukseen säärasitusolosuhteissa löytyy omat standardit, joihin ei tässä työssä paneuduta sen syvällisemmin.

ISO 4892-1 Muovit. Menetelmät laboratoriossa tuotetulle valolle. Standardi on yleinen opastus menetelmien valinnasta ja laitteiden vaatimuksista sekä tulosten tulkinnasta. (SFS, Suomen Standardisoimisliitto 2016.)

ISO 4892-2 Muovit. Menetelmät laboratoriossa tuotetun ksenon-valon aiheuttamien vaurioiden määrittämiseen ja tutkimiseen. Standardissa käydään läpi menettelyt sääolosuhdetestaukseen, kun käytetään ksenon-valoa ja eri suodattimia, mutta standardi ei kata palojen alkuvalmistelua. (SFS, Suomen Standardisoimisliitto 2013b.)

ISO 4892-3 Muovit. Menetelmät laboratoriossa tuotetun UV-valon aiheuttamien vaurioiden määrittämiseen ja tutkimiseen. Standardissa käydään läpi samanlaiset asiat kuin edellisessä osassa ISO 4892-2. (SFS, Suomen Standardisoimisliitto 2016b.)

### 7.4 Pintojen ja materiaalin arviointi sekä mittaukset

Säärasituksessa olleita koepaloja voidaan arvioida ja mitata eri menetelmin. Tutkittavia asioita voivat testistä ja halutusta lopputuloksesta riippuen olla esimerkiksi visuaalinen arviointi, tartuntalujuus, kalvonpaksuus, kiilto ja väri.

#### 7.4.1 Visuaalinen arviointi

Koepaloille voidaan tehdä visuaalinen arviointi standardin SFS-EN ISO 4628 mukaan. Standardi koostuu yhdeksästä osasta, jotka määrittävät maaleilla ja lakoilla pinnoitteen huononemisen arvioinnin sekä yleisten virhetyyppien voimakkuuden, määrän ja koon merkinnän. Ensimmäinen osa kertoo yleisesti standardista ja sen merkintäjärjestelmästä, toinen osa rakkuloitumisasteen arvioinnista, kolmas osa ruostumisasteen arvioinnista, neljäs osa halkeilemisasteen arvioinnista, viides osa hilseilyasteen arvioinnista, kuudes osa liituamisasteen arvioinnista teippimenetelmällä, seitsemäs osa liituamisasteen arvioinnista samettimenetelmällä, kahdeksas osa korroosion ja delaminaation arvioinnista viillon ympärillä ja viimeinen osa, joka on nimeltään osa 10, kertoo lankamaisen korroosion arvioinnista. (SFS, Suomen Standardisoimisliitto 2016c.)

Standardissa mainittuja visuaalisia virheitä ja esiintymiä maalipinnalla todennetaan yleensä ennen testaukseen menoa, testauksen aikana ja testin jälkeen. Visuaaliset virheet ja muutokset voivat esiintyä eri- tai samanaikaisesti tutkittavilla koepaloilla. (SFS, Suomen Standardisoimisliitto 2016c.)

#### 7.4.2 Tartuntalujuus

Pinnoitteen tartuntalujuutta määritetään standardilla SFS-EN ISO 4624. Standardissa luetellaan kolme menetelmää tartuntavetokokeen suorittamiselle. Koemenetelmät ovat hyödyllisiä kun verrataan eri pinnoitteiden tartuntaominaisuuksia. Standardissa on lueteltuna erilaisia menettelyjä riippuen, mikä alustamateriaali on kyseessä. (SFS, Suomen Standardisoimisliitto 2016d.)

#### 7.4.3 Kalvonpaksuus

Kalvonpaksuuden määrittämiseksi löytyy standardi SFS-EN ISO 2808. Standardissa kuvaillaan eri menetelmiä, jotka soveltuvat pinnoitteen kalvonpaksuuden mittaamiseen. Menetelmät löytyvät yksityiskohtaisesti kuvattuna märkäkalvonpaksuuden, kuivakalvonpaksuuden ja kovettamattomien jauhekerrosten kalvonpaksuuden määrittämiseen. Menetelmä on hyvä, kun halutaan verrata esimerkiksi saman pinnoitteen kulumista eri rasisusmenetelmien jälkeen. (SFS, Suomen Standardisoimisliitto 2007.)

#### 7.4.4 Kiilto

Testattavan pinnan kiilto voidaan määrittää standardin SFS-EN ISO 2813 mukaan. Standardi määrittelee kiillon mittaamisen maaleilla ja lakoilla kulmilla 20, 60 ja 85 astetta. Menetelmää voidaan soveltaa tasaisella ja läpinäkymättömällä pinnalla. Suuntaa antavia tuloksia saadaan struktuuripinnoitteillakin, kun arvoja voidaan verrata keskenään. (SFS, Suomen Standardisoimisliitto 2014e.)

#### 7.4.5 Väri

Väriin muutoksen visuaaliseen vertailuun antaa ohjeita standardi SFS-EN ISO 3668. Siinä kuvataan, miten säärasisolosuhteissa ollut testipala tulee analysoida värinmuutosten suhteen käyttäen apuna palaa, joka ei ole ollut säärasisitestauksessa. (SFS, Suomen Standardisoimisliitto 2001.)

## 8 Ksenon-testauksen edut verrattuna UV-testaukseen

### 8.1 Aallonpituus

Ksenon-testauksessa saadaan luotua koko auringonvalon spektri, kun UV-testauksessa saadaan vähän suppeampi spektri. Tästä on hyötyä etenkin kun halutaan tietää vaikutukset myös sisätiloissa, sillä aallonpituuksilla 300–400 nm on suurimmat haittavaikutukset vain ulko-olosuhteissa. (The Right Choice -UV Fluorescent Testing or Xenon Arc Testing 2006.)

### 8.2 Polttimot

Testeissä käytettävissä ksenon-lampuissa valokaari syntyy ionisoidun ksenon-kaasun läpi kovapaineisessa kammiossa. Korkea paine antaa lampuille suuren tehokkuuden ja valo on erittäin voimakasta. Kovan paineen (3040kPa) takia lamput ovat teknikoille vaarallisia, sillä jos ne menevät rikki, lasi- ja metallipalat sinkoavat pienen kranaatin lailla ja voivat vahingoittaa vakavasti lähelle olevia. Ksenon-lamppujen etuina on mm. se, että ne eivät tarvitse johtimia, kuten sauvoja. Ksenon-lamput eivät myöskään vilku ja ne ovat paloturvallisia, sillä niiden valokaari on suljettu. Lamput ovat myös kokonsa puolesta kompakteja. (Arc Lamps 2010.)

### 8.3 Käyttöskaala

Ainakin vielä vuonna 2011 ksenon-laitteissa oli säteilyvoimakkuuden säädin, koska ksenon-lamput olivat silloin luonnostaan spektraalisesti epävakaampia kuin fluoresoivat UV-lamput. Tilanne on kuitenkin muuttunut, ja nykyään ksenon-polttimot ovat luotettavia ja toimivia säteilyn, lämpötilan ja kosteuden säätelyn suhteen hyvin. (The Right Choice -UV Fluorescent Testing or Xenon Arc Testing 2006.)

#### 8.3.1 Valon aallonpituus

Koska ksenon-testauksessa pystytään luomaan koko auringonvalon spektri, se on toimivampi, luotettavampi ja monipuolisempi testausmenetelmä. UV-spektrin on todettu olevan vahingollisinta etenkin polymeereille, mutta ksenon-valon koko spektrin monille

muille tuotteille, kuten pigmenteille, väriaineille ja musteille, jotka vahingoittuvat etenkin pitkistä UV-aallonpituuksista. Etenkin siis värinmuutosta tutkittaessa ksenon-testaus on parempi vaihtoehto kuin UV-testaus. (Types of UV Testing Machines.)

### 8.3.2 Kosteus

Ksenon-valoa käyttävällä laitteella saadaan paremmin kontrolloitua ilman suhteellista kosteutta kuin UV-valoa käyttävällä laitteella siinä olevien antureiden avulla. Qlab väittää, että UV-valoa tuottava laite pystyy tuottamaan paremmin todellisuutta vastaavan kosteuden, kuin ksenon-laite. Väite perustuu siihen, että normaaliolosuhteissa kosteus esiintyy lähinnä kasteena materiaalin pinnalla ja Qlabin laite pystyy tuottamaan tämän kosteuden uniikilla tavalla niin, että se jää hyvin tutkittavalle pinnalle. (QUV & Q-SUN 2011.)

### 8.4 Testipalat ja niiden mittaukset

UV-valoa tuottava laite on suunniteltu niin, että siinä voi testata vain lähinnä pinnoitteita kuten maalipintoja. Ksenon-valoa käyttävien laitteiden muodon ansiosta niiden kammioidissa voidaan testata myös kolmiulotteisia koepaloja. Ksenon-valoa käyttävillä laitteilla voi testata 3D-kappaleiden lisäksi koeputkia, petrimaljoja ja litteitä paneeleja. Tosin 3D-mallisia näytepaloja testaavia UV-laitteita on tulossa markkinoille yhä enemmän. (QUV & Q-SUN 2011.)

Ksenon-testissä palat ovat avoimessa tilassa, jolloin niihin osuu räsitus koko pinta-alalta. UV-testissä olevat palat ovat usein asetettu telineisiin, joissa vain osa palasta on alttiina säärasituksille. Koska testin alkuvaiheessa ei välttämättä selkeitä muutoksia vielä ole havaittavissa, on tärkeää, että UV-palat on merkitty selkeästi, jotta tietää ottavansa mittaukset räsituskohdista. Mittalaitteiden kanssa voi olla hankalaa, että mittaus osuu oikealle kohdalle, jos räsituskohta ei ole selkeästi näkyvillä. Etenkin tasaisilla paloilla ksenon-testissä olleiden koepalojen kanssa on huolettomampaa, kun tulokset voi lukea miltä kohdalta tahansa, koska koko pala on ollut räsituksen alaisena. Jos paloilla olisi ulokkeita, tulisi varjot ja muut epätasaisuudet tietysti ottaa huomioon mittauksia otettaessa.



## 8.5 Ympäristöystävällisyys

Vaikka ksenonia pystytään tuottamaan taloudellisesti vain tuotantolaitoksessa, sen käyttöä puoltaa se, että ksenonin käyttö ei tuhoa ilmakehän otsoonia (Scheinin 2002). Lisäksi ksenon-valot ovat pitkäikäisiä, jolloin niitä ei tarvitse vaihtaa niin usein ja jätettä ei synny (Xenon vs. Halogen 2016).

## 8.6 Taloudellisuus

Riippuen laitteen koosta ja ominaisuuksista, ksenon-laite voi maksaa kolmekin kertaa enemmän kuin UV-laite (QUV & Q-SUN 2011).

Ksenon on kallista ja tällöin myös ksenon-polttimot kalliita. Tosin ksenon-polttimot ovat pitkäikäisiä, jolloin niitä ei tarvitse vaihtaa niin usein ja tällöin säästyy myös rahaa. (Xenon vs. Halogen 2016.) Ksenon-laitteen huoltotoimenpiteet ovat kalliimpia kuin UV-laitteella, joten voidaan todeta, että vuosittaiset kustannukset ovat ksenon-laitteella suuremmat kuin UV-laitteella (QUV & Q-SUN 2011).

## 9 Haastattelututkimus

Tätä insinööriyötä varten suoritettiin haastattelut, joiden tarkoituksena oli kartoittaa maalaamoissa toimijoiden mielipiteitä ja käytännön kokemuksia ksenon- ja UV-testauksen eroista. Haastattelututkimus kohdistettiin maalialalla toimiviin yrityksiin.

Yrityksiä, joiden edustajia haastateltiin, olivat seuraavat: Eskaro Oy, Geveko Oy, Sto Finester Oy, Teknos Oy ja Tikkurila Oyj.

### 9.1 Esitetyt kysymykset

1. Käytetäänkö teillä ksenon-laitetta?
2. Millaisilla tuotteilla ja mitä testataan?
3. Kuinka pitkään testausta suoritetaan?
4. Ovatko testauksessa käytettävät laitteet omat?
5. Jos löytyy myös muita säärasisuslaitteita, käytetäänkö niitäkin, kuinka paljon?
6. Oma mielipide eroista/eduista uv-laitteeseen verrattuna?
7. Millaisena näet ksenon-testauksen tulevaisuuden?

### 9.2 Tulokset

Haastateltavista kaksi vastasi kysymyksiin. Haastattelututkimuksessa selvisi, että yritykset olivat jakaantuneet kahteen. Osa yrityksistä teki testit omilla laitteilla itse ja osalla ei ollut laitteita Suomessa. Se yritys, jolta ksenon-laite löytyi, löytyi myös UV-laite. Tilanteesta riippuen yritys valitsee, kumpaa laitetta käytetään. Testien kestoon liittyen tästä yrityksestä vastattiin: ”*Yleensä testit ovat vertailevia, jolloin testiä jatketaan niin kauan kun eroja koekappaleiden välillä on nähtävissä.*” Laitteet olivat yritysten omat. Ksenon-laitteen hyvänä puolena pidettiin sen kykyä todentaa auringonvaloa realisti-

semmin kuin UV-laitteella. Huonona puolena pidettiin laitteen kallista hintaa. Erästä yrityksestä listattiin ksenon-testaukseen liittyviä seikkoja: ” *Xenon-laitteen aallonpituudet vastaavat paremmin oikeaa auringonvaloa - - Huonoina puolina voidaan pitää kappalevaihtoehtojen rajallisuutta, laitteen kalleutta - - ja esim. mikrobiologiset tai mekaaniset rasitukset jäävät testaamatta.*”

Ksenon-testauksen uskottiin pysyvän testimenetelmissä, kunnes mahdollisesti jotain parempaa tulee markkinoille. Näin eräs yrityksen edustaja kommentoi: ” *Niin kauan kun ei parempaa (=tarkempaa)/halvempaa/nopeampaa simulointia oikeasta ulkotestauksesta ole olemassa, niin xenon tulee pitämään pintansa.*”

## 10 Kokeellinen osuus

### 10.1 Johdanto ja työn tarkoitus

Työn tarkoituksena on tutkia ksenon-testauksen ja UV-testauksen eroja. Ksenonin tiedetään tuottavan auringonvalon koko spektri, kun UV-valolla saadaan tuotettua spektrin keskipituudet. Tällöin ksenon-valolla saadaan havainnollistettua laboratorioolosuhteissa tarkemmin ja realistisemmin auringonvalon aiheuttamat vahingot.

Testausmenetelmä on hyödyllinen, kun halutaan nopeasti saada tietoa esim. värikylläisyyden tai kiillon kestävyydestä. Voidaan esimerkiksi verrata kahta eri maalia ja saada tieto siitä, kumpi kestää tietyissä olosuhteissa esim. auton pintaväriä paremmin. Lisäksi voidaan todentaa eri pigmenttien eli käytännössä esimerkiksi eri värisävyjen välinen kesto samalla maalilla.

Tässä työssä tarkastelun alaisena ovat kiilto ja värisävy. Tässä työssä oletuksena on, että ksenon-testaukseen menevät koepalat menettävät enemmän kiiltoaan ja niiden värisävy muuttuu enemmän kuin UV-testaukseen menevät palat. Verrokkipaloina toimivat pimeään tilaan laitetut vastaavat palat. Testauksessa ovat vastaavat palat maalattuina sekä vesi- että liuotinpohjaisella maalilla.

Koetta suoritetaan niin pitkään koesuunnitelmassa olevan sääolosuhdesyklin mukaan, kunnes ksenon-testauksessa olevat palat ovat kuluneet huomattavasti. Tämän jälkeen tehdään loppuanalysoinnit ja kirjataan tulokset kuvaajiin.

### 10.2 Alkuvalmistelut ja työn toteutus

Työ toteutetaan koesuunnitelman mukaisesti siinä olevia standardeja käyttäen ja tähän tilanteeseen soveltaen. Työ toteutetaan niin, että valmistetaan 18 koepalaa, jotka sopivat ksenon-kaappiin, UV-kaappiin ja pimeään tilaan. Valitaan pohjamateriaaliksi teräs ja puhdistetaan palat valmiiksi pinnoitukselle niin, että pestään niistä mahdollinen rasva pois ja hiotaan pinta. Tämän jälkeen maalataan paloista puolet liuotinpohjaisella maalilla. Tässä työssä käytetään Tikkurilan Miranol täyskiiltävää kalustemaalia, joka on sävyltään ruskea. Toiset palat pinnoitetaan vesiohenteisella maalilla. Tässä työssä vesiohenteisena maalina käytetään Tikkurilan Helmi 80 kiiltävää kalustemaalia sävyltään

sama ruskea, kuin liuotinhenteinen Miranol. Palat maalataan pohjamaalin päälle kahden kertaan valmistajan ohjeiden mukaisesti niin, että väleissä suoritetaan tartuntahionta.

Ennen testauskaappeihin laittoa palojen ulkonäkö tarkastellaan silmämääräisesti ja niistä otetaan värisävyn ja kiillon mittaukset. Kun mittaukset on otettu, paloista otetaan kolme vesiohenteisella maalilla maalattua ja kolme liuotinhenteisellä maalilla maalattua palaa ja asetetaan ne omiin kaappeihinsa.

Testit suoritetaan ja paloista otetaan mittaukset. Mittaukset otetaan testisyklissä olevien kuivien jaksojen aikana. Tulokset kirjataan valmiiksi tehtyyn Excel-taulukkoon ja niistä esitetään kuvaajat, joissa on nähtävillä muutokset ja tulokset.

### 10.3 Käytetyt laitteet

Ksenon-testauksessa käytetään Atlaksen valmistamaa Suntest XLS+ -laitetta. Ksenon-laitteeseen lisätään manuaalisesti laitteen käyttämä vesi. UV-testauksessa käytetään Qlabin valmistamaa QUV-laitetta, joka kytketään vesijohtoverkkoon.

### 10.4 Kosteuden kontrollointi

UV-testissä kosteutta ei kontrolloida sen tarkemmin. Testiin on asetettu sääolosuhdesyklit ja siinä on kosteudelle tietty aika, joka tässä tapauksessa on neljä tuntia. Ksenon-testissä ilman suhteellista kosteutta voitaisiin kontrolloida, mutta tässä tapauksessa sitä ei kontrolloitu kuin määrittämällä kosteat ajanjaksot, koska UV-testissäkään sitä ei kontrolloitu.

### 10.5 Käytetyt sääolosuhdesyklit

Testauksiin asetetaan koesuunnitelman mukaiset olot. Ksenon-testaukseen asetetaan taulukon 1 mukaiset olot ja UV-testaukseen taulukon 2 mukaiset olot. Ksenon-testaukseen asetetut olosuhteet ovat standardia SFS-EN ISO 16474-2 mukailevat ja UV-testauksen olot ASTM G154 mukaiset. Olosuhteet testauksiin valittiin niiden yleisyyden takia tähän tilanteeseen soveltaen.

Taulukko 1. Sääolosuhteet ksenon-testaukseen

Xenon-testin rasitusolot		Säteily		Mustan paneelin	Kammion	Suhteellinen
Suodatin: päivän valo		Laaja	Lähi	lämpötila	lämpötila	kosteus
		300-400 nm	340 nm			
		W/m <sup>2</sup>	W/(m <sup>2</sup> ·nm)	°C	°C	%
Rasitus aika	102 min kuiva	60 ± 2	0,51 ± 0,02	63 ± 3	38 ± 3	Ei kontrolloitu
	18 min vesisumu	60 ± 2	0,51 ± 0,02	-	-	

Taulukko 2. Sääolosuhteet UV-testauksessa.

UV-testin rasitusolot		Säteily		Mustan paneelin	Suhteellinen
Lampputyyppi: UVA-340				lämpötila	kosteus
		W/m <sup>2</sup> /nm		°C	%
Rasitus aika	8 h kuiva	0,83		63 ± 3	Ei kontrolloitu
	4 h kosteus	-		-	

## 10.6 Työn tulokset ja tulosten analysointi

### 10.6.1 Ulkonäkö

#### Alussa

Palojen ulkonäkö ennen testaukseen laittoa oli yhteneväinen, muttei täysin tasainen. Maalaus tehtiin siveltimellä, joten aivan tasaista pintaa koepaloilla ei testaukseen mennessä ollut. Lisäksi pinnassa oli havaittavissa muutamia ulkoisia siihen kuulumattomia partikkeleita, joita oli ilmasta ja työvälineistä tai mahdollisesti hionnan aikana irronnut ja jäänyt puhdistuksesta huolimatta pintaan. Lisäksi tarkkaan katsottuna myös hiontajäljet erottuivat. Maalipinta oli ehjä ennen testiin laittoa ja kiiltelevä.

#### Puolivälissä

Pimeäpaloissa ei ollut havaittavia eroja alkuun verrattuna. UV-paloissa valoa vasten peilattaessa näkyy rasituksen alaisena ollut kohta vähän haaleampana alueena. UV-paloilla oli pinnan epätasaisuuksia havaittavissa; siveltimen jäljet ja pieniä hiukkasia (mahdollisesti hiontapölyä) havaittavissa. Vesi- ja liuotinhenteisellä maalattujen palojen välillä ei ollut merkittävää eroa.

Ksenon-paloilla oli näkyviä muutoksia havaittavissa etenkin vesiohenteisella maalilla maalatuilla paloilla, kun rasitus oli ollut n. 86 tuntia. Siveltimen jäljet ja pienet epätasaisuudet (mahdollisesti partikkeleita hionnasta) oli näkyvissä. Liuotinhenteisellä maalilla maalatuilla paloilla oli selkeitä muutoksia ja pientä ruosteenalkua havaittavissa, kun rasitus kestänyt n. 226 tuntia. Näilläkin paloilla oli silti yhä siveltimen jäljet näkyvissä ja pieniä hiukkasia pinnassa.

Molemmissa testeissä vesiohenteiset palat näyttivät punertavammilta kuin liuotinhenteiset palat. Molemmissa testeissä vesiohenteiset palat näyttivät värikylläisemiltä kuin liuotinhenteiset palat.

#### Lopussa

Pimeäpaloissa ei ole havaittavia eroja alkuun verrattaessa. UV-paloissa ei ollut vielä näkyvillä suuria muutoksia alun haalistumisen jälkeen. Siveltimen jäljet olivat edelleen näkyvissä ja valoa vasten peilattaessa haalistunut kohta oli havaittavissa. Pieniä jälkiä oli pinnassa ja hiontajäljet oli erotettavissa.

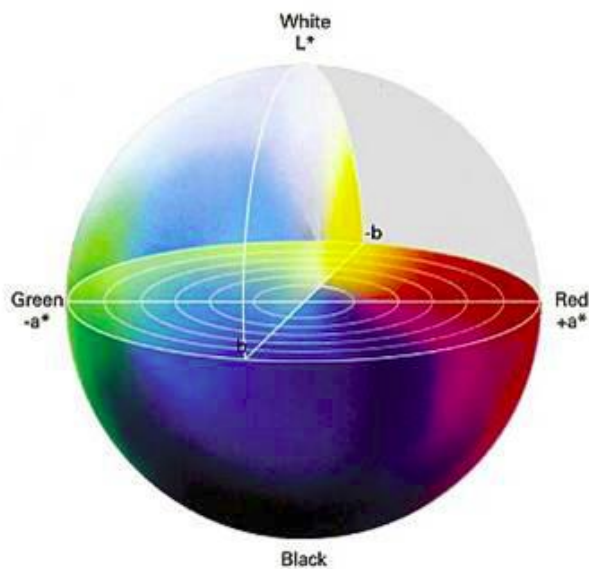
Ksenon-palat olivat menettäneet lopussa täysin kiiltonsa. Siveltimenjälkiä tai muita epätasaisuuksia ei ollut havaittavissa. Veden seisomisesta tulleita vaaleita läiskiä oli hie-man näkyvissä. Ruosteen jälkiä oli jo enemmän näkyvissä, etenkin palalla x-3, jolla maali näytti haljenneen ja päästäneen ruosteen läpi. Lisäksi pinnassa oli havaittavissa ”pieniä kiiltäviä juovia” ja ”krokotiilinnahkamaisia” laikukkaita jälkiä. Kuvassa 3 näkyy ksenon-testissä olleet liuotinhenteisellä maalilla maalatut palat, joissa säärasituksesta johtuneet muutokset näkyivät parhaiten.



Kuva 3. Ksenon-testissä olleet liuotinhenteiset palat

### 10.6.2 Värisävy

Värisävyä mitataan kolmella eri kirjaimella: L:llä, a:lla ja b:llä. L tarkoittaa musta-valko-värisävyä, a tarkoittaa puna-vihreitä ja b kelta-sinisiä värisävyjä. Värit ovat väriavaruudessa kuvan 5 mukaisesti. Arvot ovat välillä -100–100.

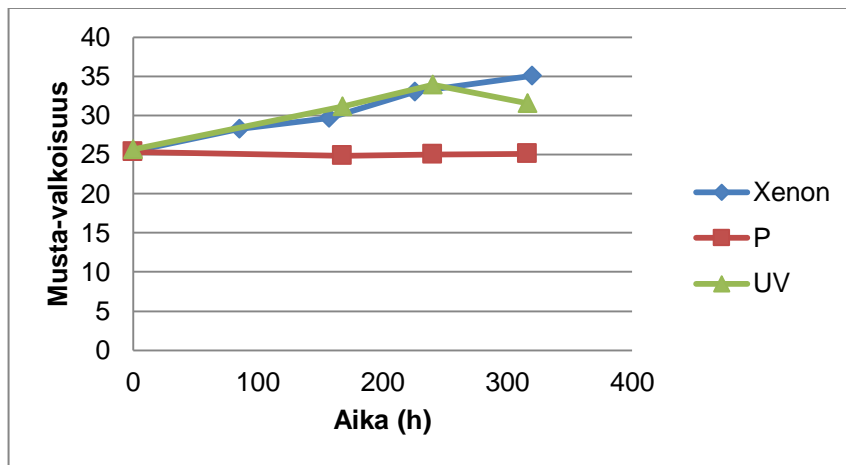


Kuva 4. Väriavaruus (Sony, 2016)

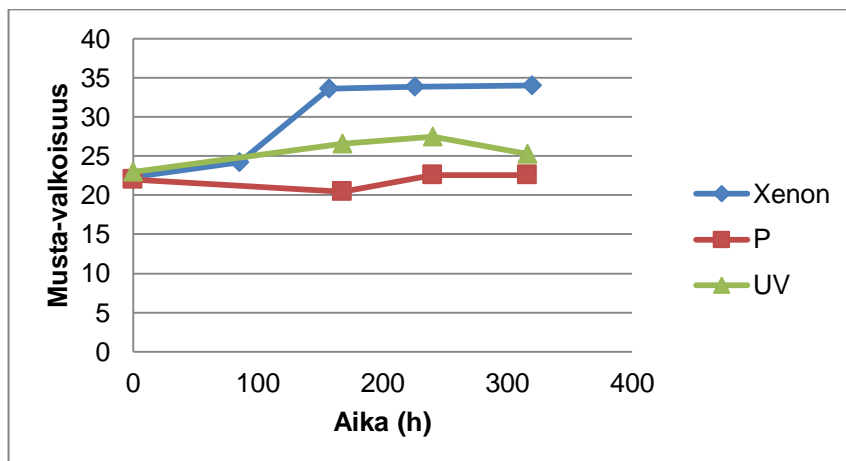
Kaikilla säärasitustesteissä olleilla paloilla värisävy haalistui nähtävästi, mutta ksenon-testissä olleilla paloilla värisävy muuttui enemmän kuin UV-testissä olleilla paloilla. Kaikissa mittauksissa musta-valko-sävyt ovat hieman haalistuneet ja muut sävyt vähän



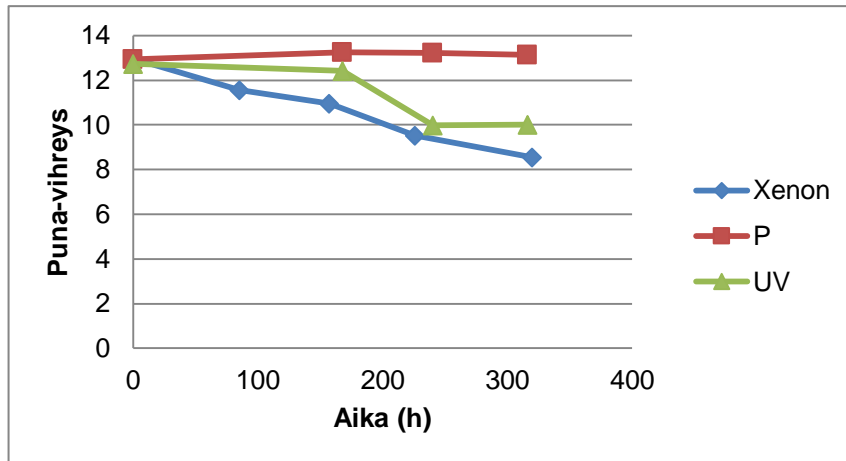
voimistuneet. Palat ovat siis lähteneet kellastumaan. Lisäksi punaisuus on ollut rasituk-  
sia kestävämpi kuin sinisyys. Alla kuvaajat kuvissa 6–10 värisävyjen muutoksista.



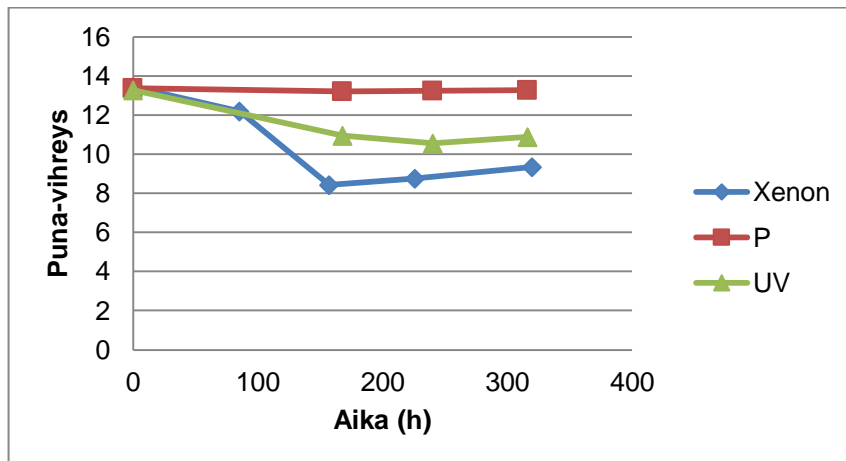
Kuva 5. Vesiohenteisen maalin musta-valko-sävyjen muutos



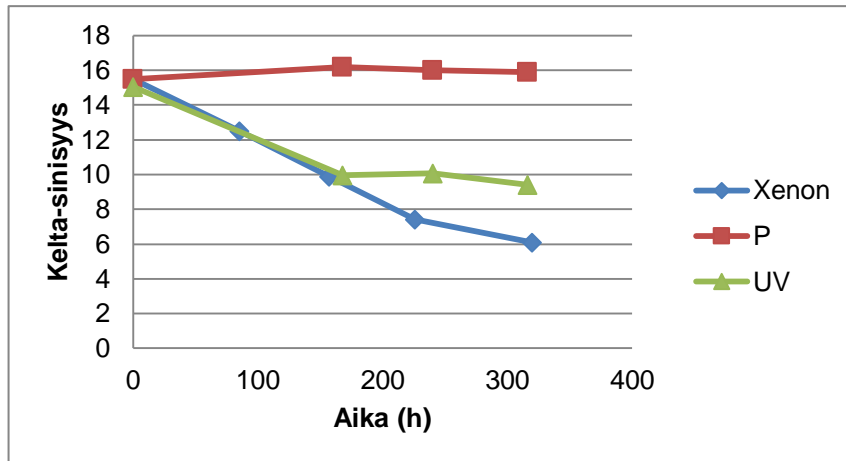
Kuva 6. Liutinohenteisen maalin musta-valko-sävyjen muutos



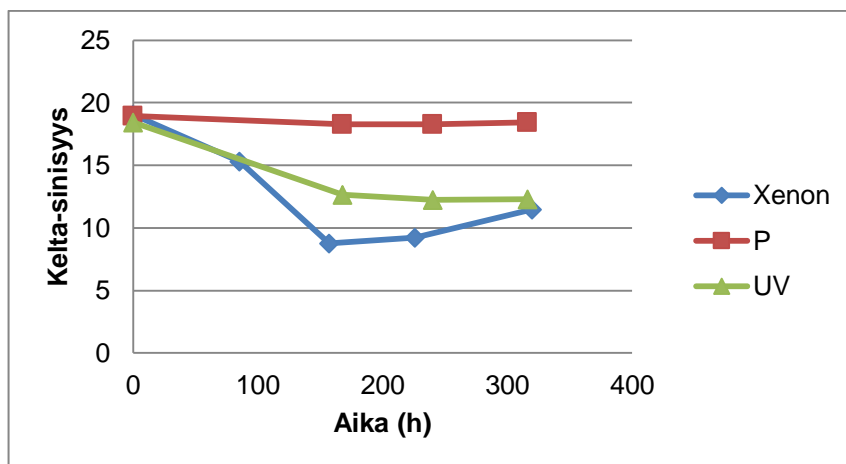
Kuva 7. Vesiohenteisen maalin puna-viher-sävyjen muutos



Kuva 8. Liutinohenteisen maalin puna-viher-sävyjen muutos



Kuva 9. Vesiohenteisen maalin kelta-sini-sävyjen muutos

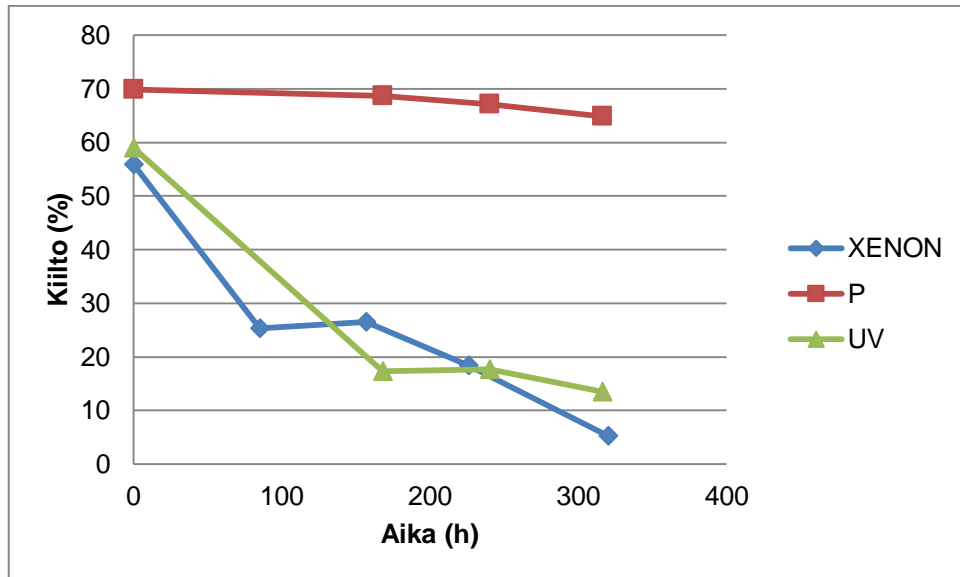


Kuva 10. Liutinohenteisen maalin kelta-sini-sävyjen muutos

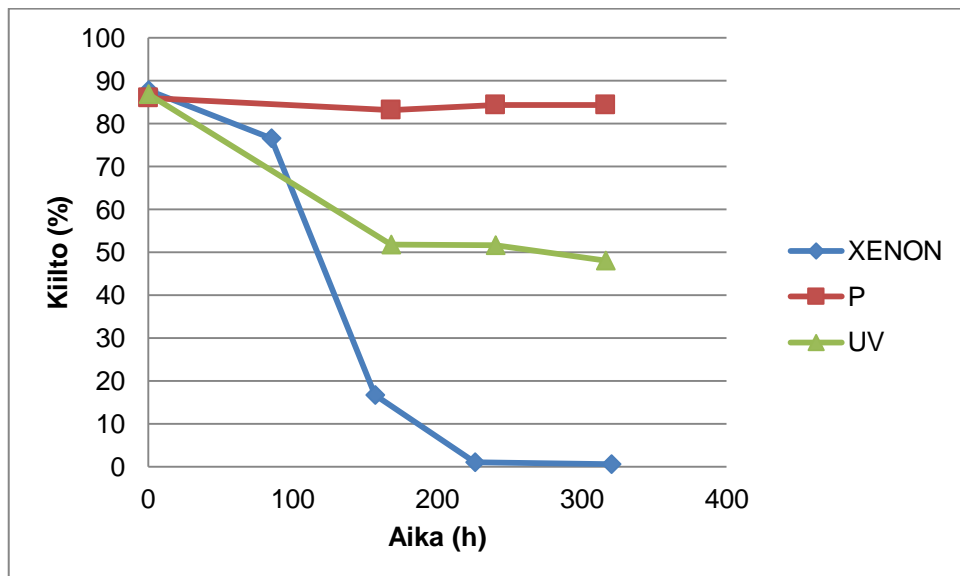
### 10.6.3 Kiilto

Kiilto muuttui kaikilla ryhmillä. Pimeäpaloilla vaihtelu johtuu lähinnä palojen keskeisistä eroista ja mittausepätarvuuudesta. Vesiohenteisilla maaleilla ksenon-testauksella saatiin nopeammin näkyviä tuloksia aluksi ja ihan loppuksi. Liutinohenteisella maalilla tulokset ovat selkeämpiä. UV-testauksessa olleet palat menettivät ensin kiiltoaan reilusti ja sen jälkeen tasaisemmin. Mikäli testiä olisi jatkettu pidempään, olisi nähty, milloin UV-palat olisivat tehneet samanlaisen notkahduksen kuin ksenon-palat tekevät rasituksen oltua n. 86 tuntia. Kiilto on lähes täysin menetetty ksenon-paloilla testauksen oltua n. 220 tuntia. Huomioitavaa on, että selkeitä muutoksia kiillon suhteen on havaittavissa liutinohenteisella maalilla maalatuissa paloissa kolmannella mittauksella, kun rasitus

ollut 225,5 h. Kiilto laski tällöin kolmasosaan. Vastaavasti selkeitä kiillon muutoksia on havaittavissa vesiohenteisella maalilla maalatuissa paloissa jo toisella mittauksella, kun rasitus ollut n. 85 h. Kiilto laski tällöin puoleen. Alla on kuvissa 11 ja 12 kuvaajat kiillon muutoksista. Huomioitavaa on, että mittauksia ei ole otettu tasan samalla hetkellä jokaisella ryhmällä.



Kuva 11. Kiillon muutos vesiohenteisella maalilla



Kuva 12. Kiillon muutos liuotinohenteisella maalilla

## 10.7 Virhemahdollisuudet

Yleisiä virhemahdollisuuksia on lueteltuna tämän insinööriyön luvussa 4.5. Tähän työhän lähemmin liittyviä virhemahdollisuuksia on lueteltuna alla.

### 10.7.1 Maalaustyö

Vaikka kokeessa käytettiin uusia käyttämättömiä maaleja ja maalaustyövälineitä, on testipalojen maalausvaiheessa voinut maalausympäristöstä ja käytetyistä työvälineistä tulla palojen pintaan ulkopuolisia hiukkasia. Mahdolliset hiukkaset ovat voineet aiheuttaa pinnan laadun heikkenemistä.

### 10.7.2 Maalipinta

Molempien testissä käytettyjen maalien tuotetiedoissa lukee, että maali saavuttaa lopulliset kestävyysominaisuutensa ja näin myös ulkonäkönsä vasta muutamien päivien jälkeen viimeisestä maalauksesta. Koska tätä työtä tehdessä ei ollut aikaa odottaa kerrottua aikaa, voivat tulokset vääristää hieman, sillä palat laitettiin testaukseen tätä aikaisemmin. Tämä voi näkyä värisävyn muutoksissa ja pinnan ulkonäössä, mutta lähinnä sillä olisi ollut merkitystä, jos olisi testattu pinnan kestävyyttä fysikaalisesti.

## 10.8 Työn arviointi

Vaikka virhemahdollisuuksia löytyy ja testi on suoritettu vain kerran yhden henkilön toimesta, tulokset ovat ennalta odotettuja ja ne vahvistavat alkukäsitystä testausmenetelmien toimivuudesta käytännössä. Jos samanlainen testi tehtäisiin uudelleen, luultavasti liuotinhenteisellä maalilla saadut tulokset olisivat lähempänä nykyisiä, kuin vesihenteisellä maalilla tehdyt mittaukset.

Tässä työssä käytetty ksenon-laite toimii manuaalisella vesitäytöllä. Jos vesi pääsi haihtumaan ja loppumaan, testi keskeytyi. Tämän takia palat ovat seisseet ilman testiä välillä muutaman tunnin ajan. Palat ovat kuitenkin olleet pimeässä ilman muita rasituksia, joten tulokset eivät ole päässeet vääristymään. Testiä jatkettiin aina siitä mihin oli jääty. Selkeyden vuoksi olisi ollut hyvä, jos mittaukset olisi otettu aina samaan aikaan kullakin testillä.

## 11 Lopuksi

Tässä työssä käytiin läpi, miten pätevästi alkuaine ksenon toimii säärasitustestin valonlähteenä yhdessä muiden rasittavien tekijöiden kanssa. Tässä työssä tutkittiin säärasitustestausta ja siinä erityisesti ksenon-valoa käyttävän testin eroja ja etuja verrattuna UV-valoa käyttävään säärasitustestiin.

Säärasitusolosuhdetestaukseen tarvittavat standardit käytiin läpi ja testaukseen liittyviä virhemahdollisuuksia listattiin. Standardien ja aikaisemmin opitun perusteella tehtiin perustalla olevaa tietoa tukeva koe, jonka tulokset olivat ennalta jo oletettavissa. Lisäksi työn ohella suoritettiin haastattelut, jotka tukivat aikaisempaa tietoa ksenon-testauksesta ja sen huonoista sekä hyvistä puolista.

Standardeissa ja kokeessa keskityttiin asioihin, jotka ovat mielenkiintoisia sisätilojen pintakäsittelyiden kannalta; keskityttiin värisävyn ja kiillon kestävyys- sekä siihen, kuinka ja missä tilanteissa voitaisiin hyödyntää ksenon-testauksen etuja.

Tutkinnan aikana kävi ilmi, että ksenon-testaus on toimiva menetelmä erityisesti aallonpituuskykeneväisyytensä ansiosta. Ksenon-testauksesta ollaan yhä kiinnostuneempia, eikä se ole luultavasti vielä saavuttanut huippuaan säärasitustestien joukossa. Tuskin ksenon-testaus tulee kuitenkaan UV-testausta kokonaan syrjäyttämään. Oletettavaa on, että testauksia tullaan soveltamaan käyttötarkoitusta mukaillen.

Tässä työssä onnistuttiin hyvin. Ksenon-testaukseen perehdyttiin kattavasti ja uutta opittiin säärasitustesteihin liittyen. Oli mielenkiintoista seurata kun osa tähän työhön liittyvistä standardeista päivittyivät työn aikana. Työtä varten suoritettu haastattelututkimus jäi kuitenkin suppeaksi ja olisi ollut mielenkiintoista kuulla lisää eri maalitoimijoilta heidän näkemyksiään.

## 12 Lähteet

Arc Lamps. 2010. Luettu 10. 2. 2016 osoitteesta Edison Tech Center:  
<http://www.edisontechcenter.org/ArcLamps.html#xenonarclamp>

Atlas. 2001. Strenometer. Luettu 16. 12. 2015 osoitteesta Weathering Testin  
Guidebook: <http://www.strenometer.dk/files/downloads/guidebook.pdf>

Benefits of Xenon Arc. 2011. Luettu 21. 10. 2015 osoitteesta Environ Laboratories:  
<http://www.environlab.com/xenon-arc.htm>

Choosing the right marine non-skid traction pads. 2010-2013. Luettu 12. 4. 2016  
osoitteesta SeaDek: <https://www.seadek.com/blog/choosing-the-right-marine-non-skid-traction-pads/>

Electron Spin Resonance. 2016. Luettu 7. 8. 2016 osoitteesta Hypershysics:  
<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/molecule/esr.html>

ELISA encyclopedia. 2004-2016. Luettu 7. 8. 2016 osoitteesta Chemiluminescent  
Assay: <http://www.elisa-antibody.com/ELISA-Introduction/elisa-detection-strategies/elisa-chemiluminescent-assay>

Isotopes of Element Xenon. Luettu 20. 10. 2015 osoitteesta It's Elemental:  
<http://education.jlab.org/itselemental/iso054.html>

Jorgensen, ym. 2009. Service Life Prediction of Organic Coatings. National Renewable  
Energy Laboratory, s. 170-185.

Laboratorioanalyysit. Luettu 7. 8. 2016 osoitteesta Opetushallitus:  
[http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/laboratorio/analyysimenetelmat\\_5-4\\_infrapunaspektrometria.html](http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/laboratorio/analyysimenetelmat_5-4_infrapunaspektrometria.html)

Lämpöanalyysi. Luettu 7. 8. 2016 osoitteesta Trelleborg:  
<http://www.tss.trelleborg.com/fi/fi/company/researchanddevelopment/ptfedevlopment/thermalanalysis/thermal-analysis.html>

- Now Guidebook. 2016. Luettu 8. 2. 2016 osoitteesta Practical A:  
<http://www.cascadetek.com/testing-services/uv-exposure-accelerated-weathering>
- QUV & Q-SUN. 2011. Luettu 15. 2. 2016 osoitteesta q-Lab: <http://www.q-lab.com/documents/public/e9cd0ed7-86fa-4e1f-bed5-af90d81e53e3.pdf>
- Rakennustuotteiden ja materiaalien ympäristöolosuhdetestaus. Luettu 21. 10. 2015 osoitteesta VTT: <http://www.vttexpertservices.fi/palvelut/testaus-ja-tarkastus/rakentamisen-tuoteet-ja-materiaalit/testausmahdollisuudet/rakennustuotteiden-ja-materiaalien-ymp%C3%A4rist%C3%B6olosuhdetestaus>
- Scheinin, H. 2002. Ksenon - Tulevaisuuden Anesteetti? Suomen Anestesiologiyhdistyksen lehti, s. 223-226. Luettu 20. 10. 2015 osoitteesta Finnanest: [http://www.finnanest.fi/files/a\\_scheinin.pdf](http://www.finnanest.fi/files/a_scheinin.pdf)
- Science in School. 2011. Luettu 7. 8. 2016 osoitteesta What is chemiluminescence?: <http://www.scienceinschool.org/2011/issue19/chemiluminescence>
- ScientificViewpoint 2016. How Many Hours in a Q-Sun or QUV = 1 Year Outdoors. QLab, s. 2-2.
- SFS, Suomen Standardisoimisliitto. 1998. SFS-EN ISO 12944 Maalit ja Lakat. Teräsrakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmillä. Osa 1. SFS ry.
- SFS, Suomen Standardisoimisliitto. 2001. SFS-EN ISO 3668 Paints and varnishes. Visual comparison of the color of paints. SFS ry.
- SFS, Suomen Standardisoimisliitto. 2004. SFS-EN ISO 1514 Paints and varnishes. Standard panels for testing. SFS ry.
- SFS, Suomen Standardisoimisliitto. 2006. SFS-EN ISO 11997 Paints and varnishes. Determination of resistance to cyclic corrosion conditions. Part 1. SFS ry.



- SFS, Suomen Standardisoimisliitto. 2007. SFS-EN ISO 2808 Maalit ja lakat. Kalvonpaksuuden määrittäminen. SFS ry.
- SFS, Suomen Standardisoimisliitto. 2010. SFS-EN ISO 1513 Maalit ja lakat. Testinäytteiden alkutarkastelu ja esikäsittely. SFS ry.
- SFS, Suomen Standardisoimisliitto. 2013b. ISO 4892 Plastics. Methods of exposure to laboratory light sources. Part 2. SFS ry.
- SFS, Suomen Standardisoimisliitto. 2014. SFS-EN ISO 4618 Maalit ja lakat. Termit ja määritelmät. SFS ry.
- SFS, Suomen Standardisoimisliitto. 2014b. SFS-EN ISO 16474 Paints and varnishes. Methods of exposure to laboratory light sources. Part 1. SFS ry.
- SFS, Suomen Standardisoimisliitto. 2014c. SFS-EN ISO 16474 Paints and varnishes. Methods of exposure to laboratory light sources. Part 2. SFS ry.
- SFS, Suomen Standardisoimisliitto. 2014d. SFS-EN ISO 16474 Paints and varnishes. Methods of exposure to laboratory light sources. Part 3. SFS ry.
- SFS, Suomen Standardisoimisliitto. 2014e. SFS-EN ISO 2813 Maalit ja lakat. Kiillon määrittäminen kulmilla 20°, 60° ja 85°. SFS ry.
- SFS, Suomen Standardisoimisliitto. 2016. ISO 4892 Plastics. Methods of exposure to laboratory light sources. Part 1. SFS ry.
- SFS, Suomen Standardisoimisliitto. 2016b. ISO 4892 Plastics. Methods of exposure to laboratory light sources. Part 3. SFS ry.
- SFS, Suomen Standardisoimisliitto. 2016c. SFS-EN ISO 4628 Maalit ja lakat. Pinnoitteiden huononemisen arviointi. Yleisten virhetyyppien esiintymien, voimakkuuden, määrän ja koon merkintä. Osa 1. SFS ry.
- SFS, Suomen Standardisoimisliitto. 2016d. SFS-EN ISO 4624. Maalit ja Lakat. Tarttuvuuden arviointi vetokokeella. SFS ry.

- SFS, Suomen standardisoimisliitto. 2013. SFS-EN ISO 11997 Paints and varnishes. Determination of resistance to cyclic corrosion conditions. Part 2. SFS ry.
- Sony. (2016). Miksi värinhallintaa tarvitaan? Luettu 20. 8 2016 osoitteesta Opetusohjelmat: <http://www.sony.fi/support/fi/content/cnt-tut/shared/about-color-management/ILCA-68>
- The Right Choice -UV Fluorescent Testing or Xenon Arc Testing. (10. 3 2006). Luettu 21. 10 2015 osoitteesta Paint & Coatings Industry: <http://www.pcimag.com/articles/85494-the-right-choice-uv-fluorescent-testing-or-xenon-arc-testing>
- Thermal Analyzers. 2016. Luettu 7. 8. 2016 osoitteesta TA Instruments: <http://www.tainstruments.com/products/thermal-analysis/>
- Types of UV Testing Machines. Luettu 10. 2. 2016 osoitteesta Materials Technology: <http://www.drb-mattech.co.uk/UV%20test%20machines.html>
- UV Exposure: Accelerated Weathering. 2015. Luettu 8. 2. 2016 osoitteesta Cascade TEK: <http://www.cascadetek.com/testing-services/uv-exposure-accelerated-weathering>
- What Is Ultraviolet Light. 31. 3. 2015. Luettu 29. 1. 2016 osoitteesta livescience: <http://www.livescience.com/50326-what-is-ultraviolet-light.html>
- Xenon. 1995. Luettu 20. 10. 2015 osoitteesta 3rd1000: <http://www.3rd1000.com/elements/Xenon.htm>
- Xenon Element Facts. 2016. Luettu 20. 10. 2015 osoitteesta Chemicool: <http://www.chemicool.com/elements/xenon.html>
- Xenon Isotopes. Luettu 20. 10. 2015 osoitteesta TRACE Sciences International: <http://www.tracesciences.com/xe.htm>
- Xenon test chamber. Luettu 12. 4. 2016 osoitteesta Biuged Laboratory Instruments: <http://www.biuged.com/en/product-page.aspx?cid=527>

Xenon vs. Halogen. 2016. Luettu 10. 2. 2016 osoitteesta Pegasus Lighting:  
<https://www.pegasuslighting.com/lc-lighting-info/xenon-vs-halogen.html>

Xenon: isotope data. 2016. Luettu 20. 10. 2015 osoitteesta WebElements:  
<http://www.webelements.com/xenon/isotopes.html>

Xenon-Arc Accelerated Exposure. Luettu 20. 10. 2015 osoitteesta Intertek:  
<http://www.intertek.com/polymers/testlopedia/xenon-arc-accelerated-exposure/>

**Liitteet**

Liite 1. Koesuunnitelma

Liite 2. Mittaustulokset

## Koesuunnitelma

Työn tarkoituksena on tutkia ksenon- ja UV-testauksen eroja ja todentaa ksenon-testauksen tehokkuutta verrattuna UV-testaukseen. Ksenonin tiedetään tuottavan auringonvalon koko spektri, kun UV-valolla saadaan tuotettua spektrin keskipituudet. Tällöin ksenon-valolla saadaan havainnoillistettua laboratorioolosuhteissa tarkemmin ja realistisemmin auringonvalon aiheuttamat vahingot.

Työssä valmistetaan koekappaleet standardin SFS EN-ISO 16474-1 mukaisesti ja laitetaan samanlaiset palat ksenon-testauskaappiin, UV-testauskaappiin ja pimeään tilaan. Tutkinnan kohteena on sisämaalien kesto ulkoisille rasituksille.

Mitä enemmän testattavia paloja tehdään, sitä luotettavampia tuloksia saadaan. Tässä työssä valmistellaan 18 koepalaa, joista yhdeksän maalataan liuotinpohjaisella maalilla (esim. Tikkurilan Miranol-kalustemaali, kiiltävä) ja yhdeksän vesiohenteisella maalilla (esim. Tikkurilan Helmi 80 -kalustemaali, kiiltävä) valmistajan ohjeiden mukaisesti. Maalaus suoritetaan metallilevyille esim. teräksisille, jotka on leikattu testauskaapin testilokeroiden mittojen mukaan. Koekappaleista otetaan kolme vesiohenteisella maalilla maalattua ja kolme liuotinpohjaisella maalilla maalattua palaa ja asetetaan ne ksenon-kaappiin. Seuraavat kolme vesiohenteisella maalilla maalattua ja liuotinhenteisellä maalilla maalattua palaa laitetaan UV-kaappiin ja loput kuusi palaa laitetaan pimeään huoneeseen verrokkipaloiksi.

Kaappeihin asetetaan säärasitusolot. Ksenon-kaappiin asetetaan olosuhteet mukaillen standardia SFS-EN ISO 16474-2 ja UV-kaappiin standardin ASTM G154 mukaan. Taulukossa 1 näkyy kuivan ja kostean ajan jaksot ksenon-testaukseen ja taulukossa 2 näkyy sykli uv-testaukseen. Kuvista nähdään myös säteilyn alloonpituudet ja lämpötilat taulukoituna. Testisyksit valitaan niiden yleisyyden vuoksi. Standardissa SFS-EN ISO 16474-2 ilman suhteellista kosteutta kuuluisi kontrolloida, mutta tässä tapauksessa sitä ei kontrolloida, jotta se vastaisi enemmän UV-testausta, jossa ei myöskään kontrolloida kosteutta muuten kuin asettamalla siihen tietty aika kosteusoloja.

Taulukko 1. Sääolosuhteet ksenon-testaukseen

Xenon-testin rasisuolot		Säteily		Mustan paneelin lämpötila	Kammion lämpötila	Suhteellinen kosteus
Suodatin: päivän valo		Laaja 300-400 nm	Lähi 340 nm			
		W/m <sup>2</sup>	W/(m <sup>2</sup> ·nm)	°C	°C	%
Rasitusaiika	102 min kuiva	60 ± 2	0,51 ± 0,02	63 ± 3	38 ± 3	Ei kontrolloitu
	18 min vesisumu	60 ± 2	0,51 ± 0,02	-	-	

Taulukko 2. Sääolosuhteet UV-testaukseen

UV-testin rasisuolot		Säteily		Mustan paneelin lämpötila	Suhteellinen kosteus
Lampputyyppi: UVA-340		W/m <sup>2</sup> /nm	°C		
Rasitusaiika	8 h kuiva	0,83	63 ± 3	Ei kontrolloitu	
	4 h kosteus	-	-		

Palojen ulkonäkö arvioidaan ennen kaappiin laittoa ja niistä otetaan värisävyn ja kiillon mittaukset. Palat laitetaan testaukseen, jonka jälkeen niistä otetaan samat mittaukset ja arvioidaan ulkonäkö tarvittavin väliajoin kunnes näkyviä tuloksia saadaan havainnoitua. Tulokset kirjataan ylös ja niistä piirretään havainnollistava graaffi.

Oletuksena on, että ksenon- ja UV-testaukseen menevien palojen värisävyt haalistuvat ja kiilto laskee nopeammin verrattuna pimeässä oleviin paloihin, joiden värisävy saattaa kellastua. Oletuksena myös on, että ksenon-testauksessa olevat palat menettävät kiiltoaan ja värisävyyään enemmän kuin UV-testauksessa olevat, sillä tiedetään, että ksenon-valon spektri on pigmenteille haitallisempi kuin UV-testauksessa käytettävä spektri.

Koska työssä tarkoituksena on verrata eri menetelmistä saatuja tuloksia, joissa ovat kiinteät sisäiset arvot, ei työssä ole muuttujia. Työssä tehdään siis riippumattomien ryhmien vertailua. Tässä työssä ryhmiä ovat ksenon-valolle altistetut palat, eli XENON-ryhmä, UV-valolle altistettu ryhmä eli UV-ryhmä sekä pimeätilaryhmä, jota kutsutaan tässä tapauksessa P-ryhmäksi. Verrokkiryhmänä UV-ryhmälle ja XENON-

ryhmälle toimii P-ryhmä. Ryhmien sisäiset ryhmät ovat vesiohenteinen ryhmä ja liuotinohenteinen ryhmä. Työssä verrataan tulosten keskiarvoja ja pohditaan niiden pitävyyttä.

Tulokset kirjataan alla olevan taulukon mukaisesti jokaisesta kolmesta testistä ja niitä analysoidaan ja piirrettävän havainnollistavia kuvia. Työstä suoritetaan raportointi standardin SFS EN-ISO 16474-1 mukaisesti.

Ryhmä		Arviointi	Mittauspiste	Värisävy			Kiilto
				L	a	b	
pvm	Pala 1		1				
			2				
			3				
			<b>ka.</b>				
	Pala 2		1				
			2				
			3				
			<b>ka.</b>				
	Pala 3		1				
			2				
			3				
			<b>ka.</b>				
		<b>Keskiarvojen keskiarvo</b>					
		<b>Omat havainnot</b>					

Tulokset		Värisävy SCE				Värisävy SCE							
P-ryhmä vesios.	Arviointi	Mittauspiste	L	a	b	Kiilto	P-ryhmä liuotinos.	Arviointi	Mittauspiste	L	a	b	Kiilto
10.6.2016	Pala 1	1	25,85	12,64	14,95	52,60	10.6.2016	Pala 1	1	22,30	13,27	18,75	88,30
		2	25,71	12,73	15,08	47,60			2	22,29	13,38	18,85	84,00
		3	26,46	12,13	13,81	54,30			3	21,83	13,60	19,82	88,50
		ka.	26,00667	12,5	14,61333	51,5			ka.	22,14	13,41667	19,14	86,93333
	Pala 2	1	23,86	13,88	17,74	76,60	Pala 2	1	22,72	13,17	18,38	85,80	
		2	24,5	13,5	16,63	78,90		2	22,11	13,5	19,12	86,30	
		3	25,43	12,94	15,5	77,20		3	20,05	13,51	19,49	86,20	
		ka.	24,59667	13,44	16,62333	77,506667		ka.	21,62667	13,39333	18,99667	86,1	
	Pala 3	1	25,76	12,74	15,08	79,10	Pala 3	1	22,06	13,21	18,28	84,60	
		2	25,34	12,96	15,38	81,40		2	22,46	13,35	18,73	87,00	
		3	25,46	12,88	15,26	80,60		3	22,41	13,39	18,98	84,00	
		ka.	25,52	12,86	15,24	80,366667		ka.	22,31	13,31667	18,66333	85,2	
<b>Keskiarvojen keskiarvo</b>			<b>25,37444</b>	<b>12,9333</b>	<b>15,4922</b>	<b>69,811111</b>	<b>Keskiarvojen keskiarvo</b>			<b>22,02556</b>	<b>13,37556</b>	<b>18,93333</b>	<b>86,07778</b>
17.6.2016	Pala 1	1	24,59	13,43	16,56	51,90	17.6.2016	Pala 1	1	22,36	13,23	18,48	67,80
		2	25,93	12,63	14,77	53,60			2	22,68	13,09	17,95	78,20
		3	27,01	11,93	13,48	49,90			3	22,11	13,51	19,36	86,90
		ka.	25,84333	12,6633	14,9367	51,8			ka.	22,38333	13,27667	18,59667	77,63333
	Pala 2	1	23,98	13,8	17,42	69,00	Pala 2	1	23,61	12,62	16,73	86,80	
		2	24,05	13,81	17,33	76,40		2	2,28	13,33	18,71	86,20	
		3	25,75	12,79	15,07	77,40		3	22,72	13,13	18,2	87,20	
		ka.	24,59333	13,4667	16,6067	74,266667		ka.	16,20333	13,02667	17,88	86,73333	
	Pala 3	1	24,47	13,55	16,85	78,20	Pala 3	1	22,97	13,07	17,76	83,30	
		2	23,88	13,84	17,47	80,60		2	22,5	13,34	18,63	84,70	
		3	24,36	13,58	16,88	81,00		3	22,5	13,49	18,91	87,80	
		ka.	24,23667	13,6567	17,0667	79,933333		ka.	22,65667	13,3	18,43333	85,26667	
<b>Keskiarvojen keskiarvo</b>			<b>24,89111</b>	<b>13,2622</b>	<b>16,2033</b>	<b>68,666667</b>	<b>Keskiarvojen keskiarvo</b>			<b>20,41444</b>	<b>13,20111</b>	<b>18,30333</b>	<b>83,21111</b>
20.6.2016	Pala 1	1	26,94	12,08	13,60	50,10	20.6.2016	Pala 1	1	22,83	12,89	17,24	81,20
		2	27,16	11,87	13,13	47,30			2	22,29	13,33	18,65	83,10
		3	25,25	12,98	15,57	42,50			3	22,41	13,28	18,52	86,50
		ka.	26,45	12,31	14,1	46,633333			ka.	22,51	13,16667	18,13667	83,6
	Pala 2	1	23,93	13,88	17,6	73,30	Pala 2	1	22,95	13,14	17,81	83,80	
		2	23,91	13,88	17,32	75,70		2	22,33	13,33	18,45	85,20	
		3	24,66	13,43	16,35	75,90		3	22,71	13,19	17,99	85,70	
		ka.	24,16667	13,73	17,09	74,966667		ka.	22,66333	13,22	18,08333	84,9	
	Pala 3	1	24,5	13,51	16,67	77,50	Pala 3	1	23,24	13	17,43	85,50	
		2	24,05	13,73	17,11	80,40		2	22,07	13,47	19,03	82,50	
		3	24,53	13,52	16,76	81,20		3	22,54	13,67	19,35	86,30	
		ka.	24,36	13,5867	16,8467	79,7		ka.	22,61667	13,38	18,60333	84,76667	
<b>Keskiarvojen keskiarvo</b>			<b>24,99222</b>	<b>13,2089</b>	<b>16,0122</b>	<b>67,1</b>	<b>Keskiarvojen keskiarvo</b>			<b>22,59667</b>	<b>13,25556</b>	<b>18,27444</b>	<b>84,42222</b>
23.6.2016	Pala 1	1	26,00	12,62	14,69	46,60	23.6.2016	Pala 1	1	22,23	13,30	18,62	85,80
		2	26,89	12,11	13,69	53,80			2	22,61	12,97	17,59	79,10
		3	25,96	12,50	14,53	46,50			3	21,97	13,63	19,55	88,10
		ka.	26,28333	12,41	14,3033	48,966667			ka.	22,27	13,3	18,59	84,33333
	Pala 2	1	24,05	13,79	17,39	53,60	Pala 2	1	22,76	13,2	18,24	84,00	
		2	24,21	13,65	16,95	67,20		2	22,26	13,36	18,82	84,40	
		3	25,66	12,82	15,05	75,70		3	22,6	13,32	18,63	84,30	
		ka.	24,64	13,42	16,4633	65,5		ka.	22,54	13,29333	18,56333	84,23333	
	Pala 3	1	24,41	13,57	16,71	79,20	Pala 3	1	22,9	13,28	18,33	83,30	
		2	24,23	13,48	16,64	79,80		2	23,19	12,88	17,35	83,20	
		3	24,14	13,71	17,26	81,20		3	22,5	13,52	18,96	86,70	
		ka.	24,26	13,5867	16,87	80,066667		ka.	22,86333	13,22667	18,21333	84,4	
<b>Keskiarvojen keskiarvo</b>			<b>25,06111</b>	<b>13,1389</b>	<b>15,8789</b>	<b>64,844444</b>	<b>Keskiarvojen keskiarvo</b>			<b>22,55778</b>	<b>13,27333</b>	<b>18,45444</b>	<b>84,32222</b>
27.6.2016	Pala 1	1	26,52	12,34	14,16	49,30	27.6.2016	Pala 1	1	22,20	13,30	18,86	64,60
		2	27,51	11,69	12,93	45,50			2	22,37	13,30	18,70	82,30
		3	25,64	12,76	15,00	39,90			3	22,57	18,39	18,39	84,10
		ka.	26,55667	12,2633	14,03	44,9			ka.	22,38	14,99667	18,65	77
	Pala 2	1	24,69	13,39	16,46	56,40	Pala 2	1	23,38	16,85	16,5	84,70	
		2	24,17	13,62	16,9	64,60		2	22,35	18,75	18,75	87,30	
		3	24,18	13,7	17,27	73,20		3	22,7	17,78	17,78	87,30	
		ka.	24,34667	13,57	16,8767	64,733333		ka.	22,81	17,79333	17,67667	86,43333	
	Pala 3	1	24,67	13,24	16,03	77,80	Pala 3	1	22,88	17,94	17,94	83,30	
		2	24,01	13,62	16,9	80,50		2	23,08	17,7	17,7	83,30	
		3	24,41	13,57	16,76	79,20		3	22,52	18,85	18,85	83,00	
		ka.	24,36333	13,4767	16,5633	79,166667		ka.	22,82667	18,16333	18,16333	83,2	
<b>Keskiarvojen keskiarvo</b>			<b>25,08889</b>	<b>13,1033</b>	<b>15,8233</b>	<b>62,933333</b>	<b>Keskiarvojen keskiarvo</b>			<b>22,67222</b>	<b>16,98444</b>	<b>18,16333</b>	<b>82,21111</b>

Palojen ulkonäöt eivät muutu testin aikana simämääräisesti huomattavasti.  
Palojen pinnoissa pieniä pisteitä havaittavissa. Luultavasti pöy/roskahiukkasia, jotka ovat maalauksen yhteydessä tulleet.  
Hiomapaperin ja siveltimen jäljet näkyvissä.  
Pinta "karhea".



Tulokset						Tulokset								
XENON vesioh.	Arviointi	Värisävy SCE			Kiilto	XENON liuotinh.	Arviointi	Mittauspi	Värisävy SCE			Kiilto		
		L	a	b					L	a	b			
10.6.2016 Pala 1		26,10	12,52	14,54	52,00	10.6.2016 Pala 1		1	22,02	13,72	19,83	88,40		
		25,77	12,68	14,88	56,00			2	22,11	13,54	19,54	91,00		
		26,28	12,40	14,35	53,40			3	22,03	13,71	19,77	89,90		
	Pala 2		26,05	12,53	14,59	53,8	Pala 2		ka.	22,05333	13,65667	19,71333	89,76667	
			25,14	13,08	15,84	53,50			1	21,86	13,58	19,82	92,10	
			25,29	13	15,56	57,20			2	21,77	13,64	19,71	89,20	
	Pala 3		25,43	12,97	15,37	55,90	Pala 3		3	21,95	13,52	19,37	87,60	
			25,28667	13,0167	15,59	55,53333			ka.	21,86	13,58	19,63333	89,63333	
			24,41	13,59	16,95	57,40			1	23,42	12,76	16,96	84,20	
			24,27	13,61	16,86	57,20			2	22,92	13,08	17,9	82,30	
			25,79	12,77	15,06	60,00			3	22,47	13,31	18,73	85,20	
			24,82333	13,3233	16,29	58,2			ka.	22,93667	13,05	17,86333	83,9	
17.6.2016 Pala 1	Rasitus tähän asti 84,5 h	27,64	11,89	13,13	24,50	17.6.2016 Pala 1	Rasitus tähän asti 84,5 h	1	22,91	12,85	17,40	82,50		
		28,19	11,50	12,38	19,50			2	23,24	12,71	16,83	84,50		
		30,95	10,47	10,38	23,70			3	23,69	12,52	15,62	82,20		
	Pala 2		28,92667	11,29	11,9633	22,56667	Pala 2		ka.	23,28	12,69333	16,61667	83,06667	
			27,75	11,86	13,01	25,10			1	22,29	13,15	18,21	87,90	
			29,41	11,09	11,26	22,40			2	22,8	12,69	16,89	85,80	
	Pala 3		30,14	10,72	10,38	24,60	Pala 3		3	25,42	11,56	12,3	84,60	
			29,1	11,2233	11,55	24,03333			ka.	23,50333	12,46667	15,8	86,1	
			25,69	12,96	15,35	31,10			1	26,94	11,05	12,2	56,40	
			27,14	12,09	13,51	28,90			2	25,53	11,37	13,4	68,90	
			27,59	11,38	13,04	27,90			3	24,66	11,96	14,82	57,00	
			26,80667	12,1433	13,9667	29,3			ka.	25,71	11,46	13,47333	60,76667	
20.6.2016 Pala 1	Rasitus tähän asti 156,5 h	28,27778	11,5511	12,4933	25,3	20.6.2016 Pala 1	Rasitus tähän asti 156,5 h	1	24,16444	12,20667	15,29667	76,64444		
		30,54	10,79	9,67	11,10			1	34,65	8,81	9,34	2,80		
		32,93	9,72	7,99	14,00			2	34,45	8,70	9,06	2,60		
	Pala 2		32,80	9,72	8,15	17,10	Pala 2		3	34,54	8,69	9,12	4,30	
			32,09	10,08	8,60333	14,06667			ka.	34,54667	8,73333	9,17333	3,23333	
			28,87	11,11	9,59	24,30			1	33,05	8,67	9,28	31,80	
	Pala 3		28,52	11,29	9,98	30,30	Pala 3		2	33,02	7,95	8	28,00	
			28,16	11,64	10,72	28,60			3	33,71	8,33	8,63	18,40	
			28,51667	11,3467	10,0967	27,73333			ka.	33,26	8,31667	8,63667	26,06667	
			28,14	11,58	11,27	34,20			1	32,66	8,15	8,8	24,20	
			28,54	11,33	10,83	41,00			2	32,64	8,21	8,23	19,10	
			28,5	11,46	10,65	37,60			3	33,46	8,23	8,35	20,10	
23.6.2016 Pala 1	Rasitus tähän asti 225,5 h	28,39333	11,4567	10,9167	37,6	23.6.2016 Pala 1	Rasitus tähän asti 225,5 h	ka.	32,92	8,19667	8,46	21,13333		
		29,66667	10,96	9,87222	26,46667			1	33,57556	8,41556	8,75667	16,81111		
		32,86	9,70	8,19	14,10			2	33,97	9,12	9,83	0,80		
	Pala 2		32,43	9,86	7,62	12,90	Pala 2		3	34,28	8,89	9,66	0,90	
			32,61	9,83	8,00	13,70			ka.	34,11	9,00667	9,73	0,83333	
			32,63333	9,79667	7,93667	13,56667			1	33,8	8,36	8,51	1,20	
	Pala 3		34,13	9,08	6,09	16,20	Pala 3		2	33,63	8,57	8,97	1,90	
			34,04	9,13	6,83	18,30			3	33,72	8,42	8,62	1,10	
			33,97333	9,03333	6,44333	16,06667			ka.	33,71667	8,45	8,7	1,4	
			31,87	9,89	7,81	18,90			1	33,86	8,68	9,05	1,30	
			32,07	9,92	8,24	31,10			2	33,75	8,85	9,24	1,10	
			33,21	9,51	7,75	26,80			3	33,93	8,86	9,24	1,20	
27.6.2016 Pala 1	Rasitus tähän asti 319,5 h	32,38333	9,77333	7,93333	25,6	27.6.2016 Pala 1	Rasitus tähän asti 319,5 h	ka.	33,84667	8,79667	9,17667	1,2		
		32,99667	9,53444	7,43778	18,41111			1	33,89111	8,75111	9,20222	1,14444		
		35,96	8,64	6,37	4,80			2	34,30	9,55	12,06	0,60		
	Pala 2		37,07	7,6	6,07	3,60	Pala 2		3	34,28	9,78	11,74	0,60	
			37,87	7,58	4,99	4,50			ka.	34,02	9,71333	12	0,6	
			37,41	8,36	5,99	5,00			1	34,4	9,24	11,66	0,70	
	Pala 3		37,45	7,84667	5,68333	4,366667	Pala 3		2	33,68	9,27	11,22	0,70	
			34,82	9,14	7,45	4,30			3	33,77	9,2	11,34	0,60	
			25,5	9,02	6,94	4,80			ka.	33,95	9,23667	11,40667	0,66667	
			35,53	9,19	7,27	9,90			1	33,79	9,3	11,26	0,70	
			31,95	9,11667	7,22	6,333333			2	33,59	9,23	11,03	0,70	
			35,06667	8,54333	6,10556	5,2			3	35,05	8,75	10,9	0,60	
Xenon-paloissa alussa pieniä epätasaisuuksia pinnassa ja siveltimen jäljet näkyvissä. Selkeitä muutoksia havaittavissa vesiohenteisella maalilla maalatuissa paloissa jo toisella mitauksella, kun rasitus ollut 84,5 h. Kiilto tipuu puoleen ja värisävy selkeästi haalistunut. Vastaavasti selkeitä muutoksia havaittavissa liuotinhenteisellä maalilla maalatuissa paloissa kolmannelle mitauksella, kun rasitus ollut 225,5 h. Kiilto tippuu kolmasosaan ja värisävy selkeästi haalistunut. Vesiohenteiset palat näyttävät punertavammilta, kuin liuotinhenteiset. Pannoista hävinneet siveltimen jäljet ja ne näyttävät tasaisilta ja matoilta. Tosin pintoihin ilmestyy veden seisomisesta johtuneita vaaleita jälkiä. Ruosteesta jälkiä alkaa ilmestymään loppua kohti. Ensimmäisen kerran 23.6. mittauksessa palassa X-3, kun rasitusta ollut 225,5 h. (Voi olla, että maali tässä kohdin liian ohuella levitettyä.) Viimeisellä mittauksella jo suhteellisen paljon ruostetta näkyvissä. Maali halkiillut ja "päästännyt" ruosteeseen läpi. Lisäksi pieniä kiiltäviä juovia näkyvissä viimeisellä mittauksella. "krokotiilinnahkamaisia" laikukkaita jälkiä. Pinnat täysin mattoja.	Mittaukset koitettu ottaa epätasaisuuksia vältellen.	35,06667	8,54333	6,10556	5,2	Mittaukset koitettu ottaa epätasaisuuksia vältellen.		ka.	34,14333	9,09333	11,06333	0,66667		
		35,06667	8,54333	6,10556	5,2					1	34,03778	9,347778	11,49	0,644444
		35,06667	8,54333	6,10556	5,2							2	34,03778	9,347778

Tulokset					Värisävy SCE								
UV vesioh.	Arviointi	Mittauspiste	L	a	b	Kiilto	UV liuotinoh.	Arviointi	Mittauspiste	L	a	b	Kiilto
10.6.2016	Pala 1	1	25,42	12,88	15,41	65,40	10.6.2016	Pala 1	1	22,72	13,33	18,73	85,90
		2	24,67	13,32	16,39	63,00			2	22,49	13,48	19,11	85,90
		3	25,43	12,85	15,13	58,10			3	23,17	13,15	18,01	87,20
		ka.	25,17333	13,0167	15,6433	62,16667			ka.	22,79333	13,32	18,61667	86,33333
	Pala 2	1	25,52	12,87	15,35	56,30		Pala 2	1	22,38	13,96	20,06	87,60
		2	25,65	12,66	14,76	48,70			2	22,41	13,45	19,03	86,50
		3	26,01	12,61	14,82	53,30			3	25,27	11,91	15,07	87,00
		ka.	25,72667	12,7133	14,9767	52,76667			ka.	23,35333	13,10667	18,05333	87,03333
	Pala 3	1	25,73	12,73	15,13	56,50		Pala 3	1	23,2	13,57	18,85	88,20
		2	26,93	12,14	13,9	63,10			2	22,91	13	17,95	87,60
		3	25,93	12,56	14,63	66,70			3	22,38	13,58	19,2	86,10
		ka.	26,19667	12,4767	14,5533	62,1			ka.	22,83	13,38333	18,66667	87,3
		<b>Keskiarvojen keskiarvo</b>	<b>25,69889</b>	<b>12,7356</b>	<b>15,0578</b>	<b>59,011111</b>			<b>Keskiarvojen keskiarvo</b>	<b>22,99222</b>	<b>13,27</b>	<b>18,44556</b>	<b>86,88889</b>
17.6.2016	Pala 1	1	30,71	20,34	10,18	18,40	17.6.2016	Pala 1	1	26,53	10,98	12,70	54,80
Rasitus 168 h		2	30,89	20,44	10,32	23,00	Rasitus 168 h		2	26,10	11,20	13,06	53,20
		3	30,76	10,40	10,19	23,60			3	27,04	10,78	12,40	49,50
		ka.	30,78667	17,06	10,23	21,66667			ka.	26,55667	10,98667	12,72	52,5
	Pala 2	1	31,22	10,03	9,71	12,30		Pala 2	1	27	10,64	12,16	53,70
		2	31,43	10,1	9,79	17,10			2	26,56	10,89	12,61	51,50
		3	31,26	10,21	9,99	17,00			3	26,83	10,81	12,29	54,00
		ka.	31,30333	10,1133	9,83	15,46667			ka.	26,79667	10,78	12,35333	53,06667
	Pala 3	1	31,58	9,91	9,6	15,30		Pala 3	1	27,54	10,5	11,88	43,40
		2	31,38	10,14	9,97	12,90			2	26,14	11,13	12,95	48,90
		3	30,93	10,29	9,98	16,50			3	25,14	11,63	13,99	58,00
		ka.	31,29667	10,1133	9,85	14,9			ka.	26,27333	11,08667	12,94	50,1
		<b>Keskiarvojen keskiarvo</b>	<b>31,12889</b>	<b>12,4289</b>	<b>9,97</b>	<b>17,344444</b>			<b>Keskiarvojen keskiarvo</b>	<b>26,54222</b>	<b>10,95111</b>	<b>12,67111</b>	<b>51,88889</b>
20.6.2016	Pala 1	1	33,32	10,09	10,19	17,20	20.6.2016	Pala 1	1	27,34	10,48	11,69	56,50
Rasitus 240 h		2	33,88	10,03	10,06	22,80	Rasitus 240 h		2	27,45	10,51	11,82	50,40
		3	33,82	10,03	9,97	21,80			3	27,97	10,42	11,78	50,80
		ka.	33,67333	10,05	10,0733	20,6			ka.	27,58667	10,47	11,76333	52,56667
	Pala 2	1	34,53	9,83	10,06	12,80		Pala 2	1	27,41	10,66	11,9	41,60
		2	34,26	10,07	10,33	18,60			2	26,72	10,89	12,45	42,70
		3	34,68	10,07	10,35	20,30			3	27,69	10,46	15,07	51,50
		ka.	34,49	9,99	10,2467	17,23333			ka.	27,27333	10,67	13,14	45,26667
	Pala 3	1	36,43	9,48	9,8	13,80		Pala 3	1	26,81	10,65	12,08	58,20
		2	32,64	9,96	9,73	14,30			2	27	10,78	12,12	59,10
		3	31,81	10,24	10,14	17,30			3	28,66	10,06	11,27	54,10
		ka.	33,62667	9,89333	9,89	15,13333			ka.	27,49	10,49667	11,82333	57,13333
		<b>Keskiarvojen keskiarvo</b>	<b>33,93</b>	<b>9,97778</b>	<b>10,07</b>	<b>17,655556</b>			<b>Keskiarvojen keskiarvo</b>	<b>27,45</b>	<b>10,54556</b>	<b>12,24222</b>	<b>51,65556</b>
23.6.2016	Pala 1	1	31,13	10,15	9,53	14,70	23.6.2016	Pala 1	1	26,39	10,87	12,31	51,50
Rasitus 312 h		2	31,49	10,10	9,46	15,70	Rasitus 312 h		2	26,16	10,96	12,57	50,70
Luultavasti 316 h, kosk		3	31,38	10,07	9,47	16,60	Luultavasti 316 h, koska n		3	16,01	11,03	12,66	53,80
		ka.	31,33333	10,1067	9,48667	15,66667			ka.	22,85333	10,95333	12,51333	52
	Pala 2	1	31,88	9,93	9,34	11,50		Pala 2	1	26,51	10,8	12,16	47,20
		2	31,85	10	9,32	14,20			2	26,46	10,84	12,21	45,30
		3	31,84	9,88	9,27	14,30			3	26,54	10,81	11,96	54,80
		ka.	31,85667	9,93667	9,31	13,33333			ka.	26,50333	10,81667	12,11	49,1
	Pala 3	1	31,66	9,95	9,32	11,20		Pala 3	1	27,39	10,43	11,51	37,70
		2	31,12	9,87	9,33	10,10			2	26,05	11	12,55	40,20
		3	31,63	10,05	9,52	12,90			3	25,93	11,1	12,67	52,10
		ka.	31,47	9,95667	9,39	11,4			ka.	26,45667	10,84333	12,24333	43,33333
		<b>Keskiarvojen keskiarvo</b>	<b>31,53333</b>	<b>10</b>	<b>9,39556</b>	<b>13,46667</b>			<b>Keskiarvojen keskiarvo</b>	<b>25,27111</b>	<b>10,87111</b>	<b>12,28889</b>	<b>48,14444</b>
27.6.2016	Pala 1	1	31,26	10,02	9,39	14,40	27.6.2016	Pala 1	1	26,67	10,56	11,73	55,40
VOI JÄTTÄÄ POIS!!		2	31,67	10,07	9,36	19,20	VOI JÄTTÄÄ POIS!!		2	26,76	10,57	11,58	57,10
		3	31,59	9,97	9,27	19,90			3	26,64	10,67	11,93	49,10
		ka.	31,50667	10,02	9,34	17,83333			ka.	26,69	10,6	11,74667	53,86667
	Pala 2	1	31,94	9,84	9,05	13,00		Pala 2	1	26,94	10,35	11,28	53,20
		2	31,97	9,97	9,31	11,30			2	25,87	10,97	12,43	52,50
		3	32,11	9,87	9,14	13,10			3	26,86	10,365	11,72	54,90
		ka.	32,00667	9,89333	9,16667	12,46667			ka.	26,55667	10,365	11,81	53,53333
	Pala 3	1	32,07	9,71	8,88	11,10		Pala 3	1	25,11	11,07	12,6	56,80
		2	31,63	10,06	9,45	11,40			2	26,19	10,85	12,13	59,60
		3	31,57	10,06	9,48	14,50			3	27,14	10,43	11,44	53,70
		ka.	31,75667	9,94333	9,27	12,33333			ka.	26,14667	10,78333	12,05667	56,7
		<b>Keskiarvojen keskiarvo</b>	<b>31,75667</b>	<b>9,95222</b>	<b>9,25889</b>	<b>14,211111</b>			<b>Keskiarvojen keskiarvo</b>	<b>26,46444</b>	<b>11,61163</b>	<b>11,87111</b>	<b>54,7</b>

UV-palat näyttävät samoilta kuin P-ryhmän ja Xenon-ryhmän palat.  
Haalistumisjäljet ei niin selkeitä.

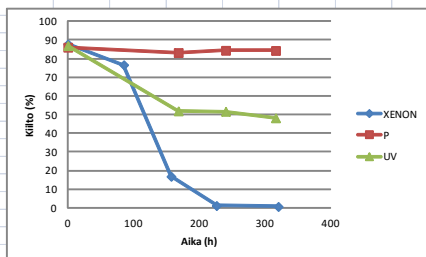
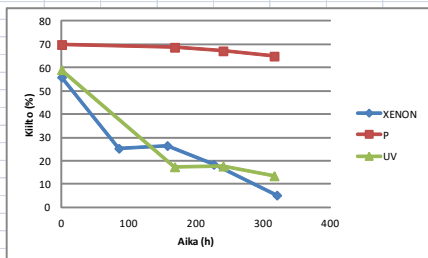
**KILTO**

Vesiohenteiset

aika/h	P	UV	XENON
0	69,81111	59,01111	55,84444
168	68,66667	17,34444	85,25,3
240	67,1	17,65556	157,26,46667
316	64,84444	13,46667	226,18,41111
			320,5,2

Liutinohenteiset

aika/h	P	UV	aika/h	XENON
0	86,07778	86,88889	0	87,76667
168	83,21111	51,88889	85	76,64444
240	84,42222	51,65556	157	16,81111
316	84,32222	48,14444	226	1,144444
			320	0,644444



**VÄRISÄVYT**

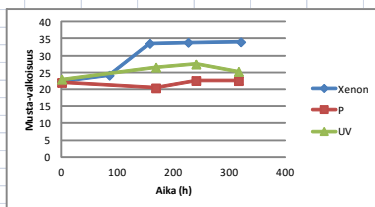
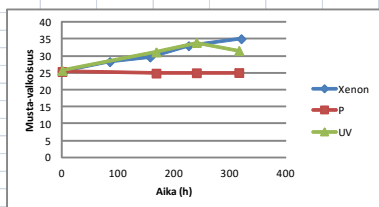
L

Vesiohenteiset

aika/h	P	UV	aika/h	Xenon
0	25,37444	25,69889	0	25,38667
168	24,89111	31,12889	85	28,27778
240	24,99222	33,93	157	29,66667
316	25,06111	31,55333	226	32,99667
			320	35,06667

Liutinohenteiset

aika/h	P	UV	aika/h	Xenon
0	22,02556	22,99222	0	22,28333
168	20,41444	26,54222	85	24,16444
240	22,59667	27,45	157	33,57556
316	22,55778	25,27111	226	33,89111
			320	34,03778



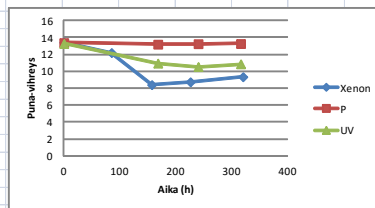
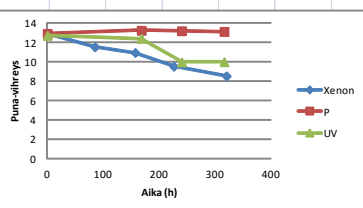
a

Vesiohenteiset

aika/h	P	UV	aika/h	Xenon
0	12,93333	12,73556	0	12,95778
168	13,26222	12,42889	85	11,55111
240	13,20889	9,97778	157	10,96
316	13,13889	10	226	9,534444
			320	8,543333

Liutinohenteiset

aika/h	P	UV	aika/h	Xenon
0	13,37556	13,27	0	13,42889
168	13,20111	10,95111	85	12,20667
240	13,25556	10,54556	157	8,415556
316	13,27333	10,87111	226	8,751111
			320	9,347778



b

Vesiohenteiset

aika/h	P	UV	aika/h	Xenon
0	15,49222	15,05778	0	15,49
168	16,20333	9,97	85	12,49333
240	16,01222	10,07	157	9,872222
316	15,87889	9,395556	226	7,437778
			320	6,105556

Liutinohenteiset

aika/h	P	UV	aika/h	Xenon
0	18,93333	18,44556	0	19,07
168	18,30333	12,67111	85	15,29667
240	18,27444	12,24222	157	8,756667
316	18,45444	12,28889	226	9,202222
			320	11,49

