

Kristian Koskinen

# Sinisellä valolla tehtävä NDT-tarkastus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Insinöörityö

29.4.2014

Tekijä Otsikko	Kristian Koskinen Sinisellä valolla tehtävä NDT-tarkastus
Sivumäärä Aika	37 sivua 29.4.2014
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotantotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Energia- ja ympäristötekniikka
Ohjaaja	Lehtori Juha Kotamies
<p>Tämä insinööriö tehtiin Metropolia Ammattikorkeakoululle materiaalitekniikan laboratoriossa. Insinööriöön aiheena on sinisellä valolla tehtävän NDT-tarkastuksen vertaaminen UV-valolla tehtävään tarkastukseen. Työssä käytettiin materiaalitekniikan laboratoriosta saatuja tutkimuskappaleita sekä eri toimittajilta tutkimuskäyttöön saatuja NDT-tarkastuskemikaaleja. Tutkimusta varten koululle tilattiin sininen tutkimusvalo sekä näiden kanssa käytettävät suodatinlasit.</p> <p>Työssä kerrotaan yleisesti tunkeumaneste- sekä magneettijauhetarkastuksesta, minkä jälkeen perehdytään valituilla eri valaistustyypeillä tehtäviin tarkastuksiin. Työn tuloksena todettiin että tutkitut molemmat valaisumenetelmät soveltuivat hyvin tehtyihin tarkastuksiin sekä käytetyt kemikaalit olivat hyvin yhteensopivia näiden kanssa.</p>	
Avainsanat	Sininen valo, NDT

Author Title	Kristian Koskinen Non-destructive Testing with Blue Light
Number of Pages Date	37 pages 29 April 2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Specialisation option	Energy and Environmental Engineering
Instructor	Juha Kotamies, Lecturer, Metropolia UAS
<p>This final year project was made for Metropolia University of Applied Sciences in the laboratory of material technology. The objective of this Bachelor's thesis is the blue light task NDT inspection, and the comparison of the UV light examination. In this study, materials from the laboratory of material technology were utilized and also non-destructive inspection chemicals from a variety of vendors. For the study, blue light and filter glasses were ordered for Metropolia UAS.</p> <p>The thesis describes a general penetrant and magnetic particle testing, after which the thesis focuses on tests made with selected different lighting methods. As a result, it was discovered that the both analyzed lighting methods suited well for both inspections. Furthermore, it was found out that the chemicals used were very compatible as well.</p>	
Keywords	Blue light, NDT

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Rikkomaton tarkastus	2
2.1	Tunkeumanestetarkastus	2
2.1.1	Tunkeumanestetarkastuksen periaate	2
2.1.2	Tunkeumanestetarkastuksen eteneminen	3
2.1.3	Tunkeumanestetarkastuksen käyttömahdollisuudet	4
2.2	Magneettijauhetarkastus	5
2.2.1	Magneettijauhetarkastuksen periaate	5
2.2.2	Magneettijauhetarkastuksen eteneminen	6
2.2.3	Magneettijauhetarkastuksen käyttömahdollisuudet	7
2.3	CEN-standardit	8
3	Valaistuksen teoriaa	9
3.1	Valon aallonpituus ja spektri	9
3.2	Ultraviolettisäteily	11
3.3	Ultraviolettilaistus	12
4	Sinisen valon käyttö ultravioletivalon sijasta	13
4.1	Sinisen valon tutkiminen	13
4.2	Sinisen valon etuja	14
5	Tutkimuksen tarkoitus	15
6	Työssä esiintyvät yksiköt	15
6.1	Luksi (lx)	15
6.2	Tesla (T)	16
7	Työn suoritus	17
7.1	Työssä käytettävät laitteet	17
7.1.1	Magnaflux ZB100F- ultraviolettilaisin	17
7.1.2	Nightsea Bluestar flashlight	18
7.1.3	UVM-8-säteilymittari	19
7.1.4	Minolta T-10-luksimittari	20
7.1.5	Phywe teslameter -magneettikenttämittari	21

7.2	Alkuvertailua sinisen valon ja ultraviolettivalon välillä	22
7.3	Testikappaleet	24
7.4	Työn aloitus	25
7.5	Työn eteneminen	26
	7.5.1 Huoneen valaistuksen voimakkuudet testien aikana	26
	7.5.2 Magneettijauhetarkastus	27
	7.5.3 Tunkeumanestetarkastus	28
8	Tulokset	29
	8.1 Magneettijauhetarkastus	29
	8.2 Tunkeumanestetarkastus	33
9	Tulosten tarkastelu ja yhteenveto	35
	Lähteet	36

## Lyhenteet

NDT Nondestructive testing, rikkomaton aineenkoetus, rikkomaton tarkastus

## 1 Johdanto

Tässä insinööriyössä tutkitaan sinisen valon sopivuutta NDT-tarkastuksiin. Työhön valittuja NDT-tarkastuksia ovat magneettijauh tarkastus sekä tunkeumanestetarkastus.

Työssä tehtiin valitut tarkastukset ja vertailtiin niiden näyttämiä UV-valon sekä sinisen valon kesken. Työ tehtiin Metropolia Ammattikorkeakoulun materiaalitekniikan laboratoriossa. Työn aihe tuli lehtori Juha Kotamieheltä, joka toimi myös työn ohjaajana.

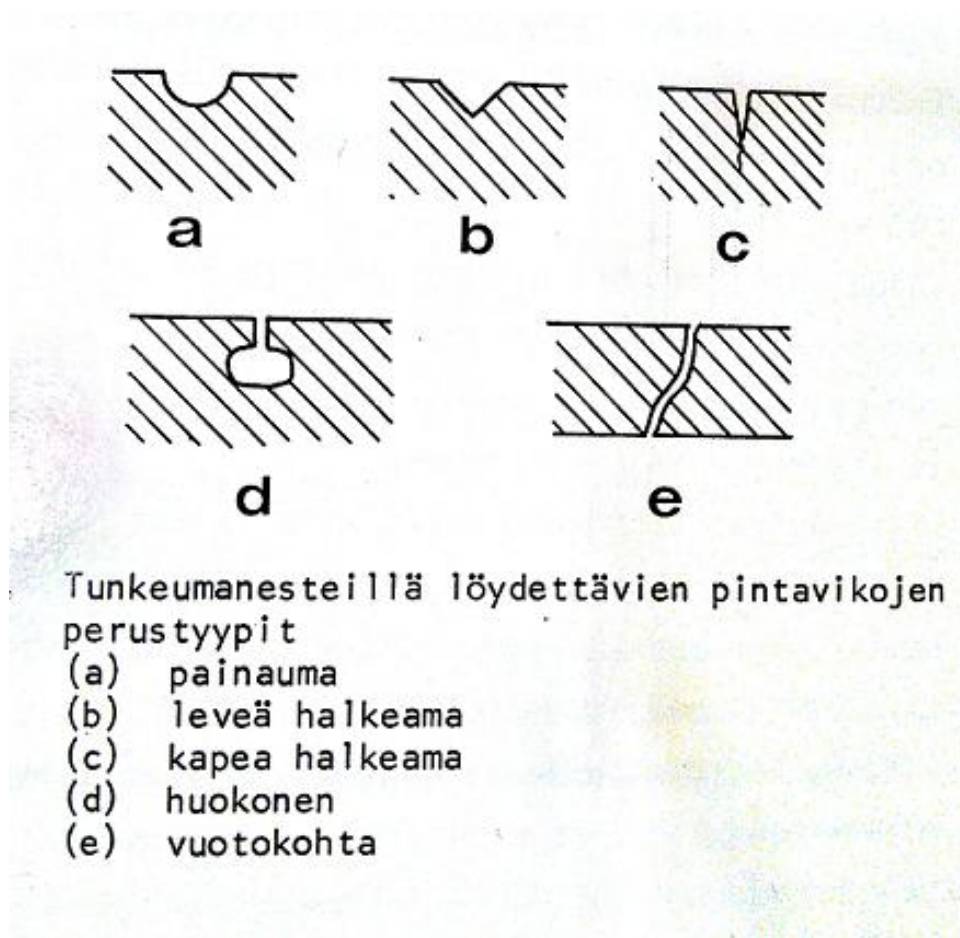
Työn tavoitteena on tutkia soveltuuko sininen valo valittuihin NDT-tarkastuksiin UV-valon sijasta ja soveltuvatko samat fluoresoivat kemikaalit sinisellä valolla tehtäviin tarkastuksiin.

## 2 Rikkomaton tarkastus

### 2.1 Tunkeumanestetarkastus

#### 2.1.1 Tunkeumanestetarkastuksen periaate

Tunkeumanestetarkastus on NDT-menetelmä eli rikkomaton tarkastusmenetelmä, jolla voidaan havaita ei huokoisissa kappaleissa esiintyvät viat ja virheet kuten säröt, huokokset ylivalssaumat, liitosviat, vuotokohtat ja vastaavat epäjatkuvuudet. Tarkastus on helppo suorittaa kaikenkokoisille tai muotoisille kappaleille ja myös ei-ferromagneettisille materiaaleille. Tunkemanesteillä löydettävät viat jakautuvat viiteen perustyyppiin, joita ovat painauma, leveä halkeama, kapea halkeama, huokonen ja vuotokohta, jotka on esitetty kuvassa 1. [1 ; 2 ; 3.]



Kuva 1. Pintavikojen perustyyppit [3.]



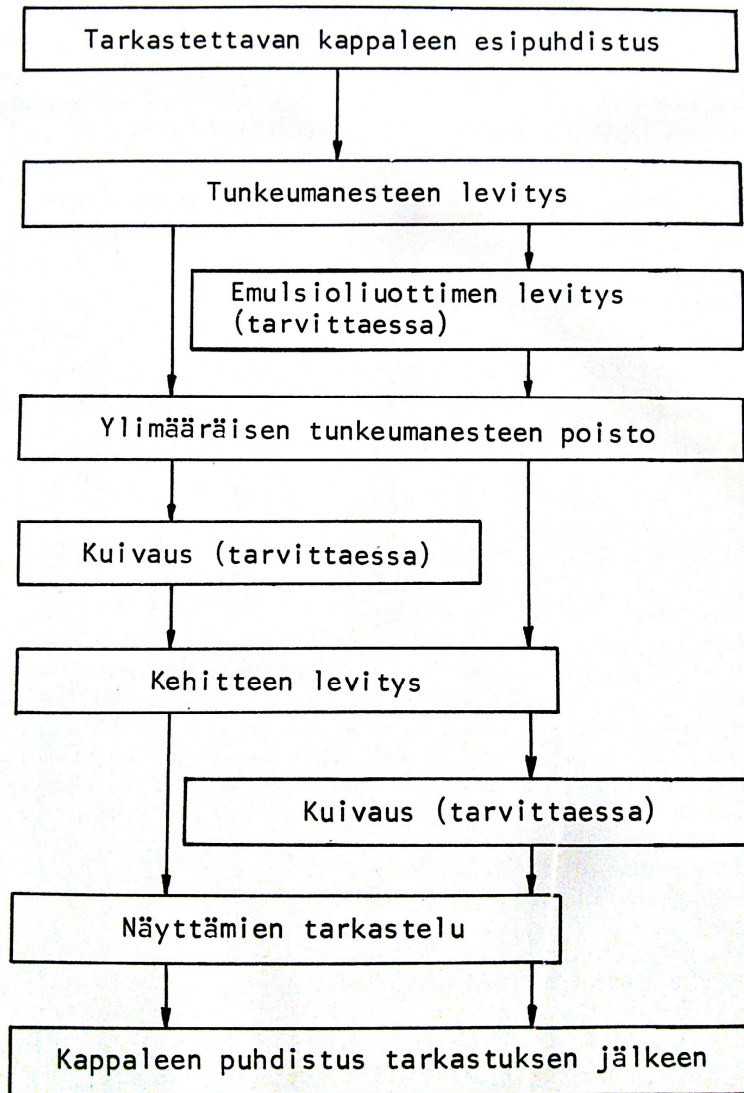
Painaumia on usein taotuissa ja valssatuissa kappaleissa, ja myös jonkin vieraan esineen isku saattaa aiheuttaa materiaalin pintaan vastaavantyyppisen jäljen. Yleisimmin tunkeumanesteillä etsitään materiaaleista halkeamia, jotka ovat syntyneet lämpökäsittelyyn, väsymiseen, hionnan tai jännityskorroosion seurauksena ja jotka ovat tyypiltään useimmiten kapeita ja joiden havaitseminen edellyttää tunkeumanesteiltä suurta herkkyyttä. Leveiden halkeamien etsimistä vaikeuttaa usein ylimääräisen tunkeumanesteen poiston yhteydessä tehtävä pesu, jossa neste poistetaan myös halkeamakohdasta. [1 ; 2 ; 3.]

### 2.1.2 Tunkeumanestetarkastuksen eteneminen

Alettaessa tarkastamaan kappaletta, sen on oltava mahdollisimman puhdas öljystä, rasvasta ja muista epäpuhtauksista. Pienikin epäpuhtaus voi estää tarkastusnestettä tunkeutumasta tutkittavaan kappaleeseen. Puhdistuksessa käytetään yleisimmin sopivia liuottimia tai myös höyrypesua. [1 ; 2 ; 3.]

Tunkeumaneste levitetään kappaleen pinnalle joko ruiskuttamalla tai sivelemällä tai kappaleen voi kastaa tunkeumanesteeseen. Levittämisen jälkeen nesteen täytyy antaa imeytyä ja tunkeutua kappaleen säröihin ja epäjatkuvuuskohtiin riittävän pitkään, jotta kaikki virheet tulevat havaituksi. Kun tunkeumaneste on vaikuttanut vaaditun ajan, voidaan ylimääräinen neste poistaa kappaleen pinnalta joko vedellä tai vaaditulla liuottimella. [1 ; 2 ; 3.]

Ylimääräisen nesteen poiston jälkeen kappaleen pinnalle levitetään kehite, joka imee epäjatkuvuuskohtaan jääneen tunkeumanesteen itseensä. Vikakohtista aiheutuvat näyttämät havaitaan vaaleapohjaisessa kehitteessä, sillä tunkeumaneste sisältää voimakasta, useimmiten punaista väriainetta tai fluoresoivaa ainetta. (Kuva 2.) [1 ; 2 ; 3.]



Kuva 2. Tunkeumanestetarkastuksen eteneminen [3.]

### 2.1.3 Tunkeumanestetarkastuksen käyttömahdollisuudet

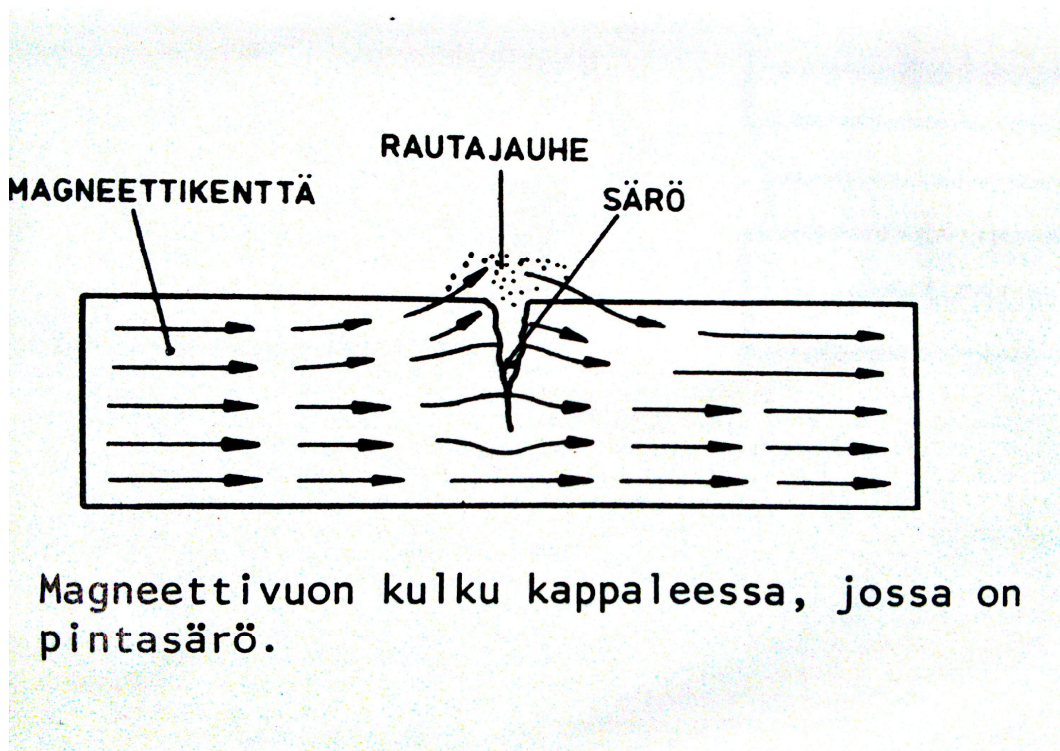
Tunkeumanestetarkastus on halpa ja yksinkertainen menetelmä, joka soveltuu kaikenkokoisten ja -muotoisten kappaleiden tarkastukseen. Metallisten materiaalien lisäksi sillä voidaan tarkastaa esimerkiksi muovia, lasia ja keramiikkaa. Myös tunkeumanestetarkastuksen tarkkuus ja luotettavuus on usein riittävä. Huomattavimpana rajoituksena voidaan pitää menetelmän soveltuvuutta vain pintaan asti ulottuvien vikojen etsintään. Tunkeumanestetarkastusta rajoittaa myös tarkastettavan kohteen lämpötila jonka useimmiten tulee olla alueella +5... +50 °C. [1 ; 2 ; 3.]

## 2.2 Magneettijauhetarkastus

### 2.2.1 Magneettijauhetarkastuksen periaate

Magneettijauhetarkastusmenetelmällä pyritään saamaan kappaleen pinnan tasolla ja pinnan läheisyydessä olevia vikoja esille. Tarkastus perustuu epäjatkuvuuskohtien synnyttämien vuotokenttien havaitsemiseen. Myös esimerkiksi maalin ja rasvan täyttämät säröt voidaan havaita. Magneettijauhetarkastus sopii vain ferromagneettisten materiaalien tarkastamiseen. [1 ; 2 ; 4.]

Tutkittavaa kappaletta magnetoitaessa, magneettiset voimaviivat jakautuvat tasaisesti kappaleen poikkipinnassa, pyrkien kuitenkin pysymään kappaleen sisällä. Jos magneettivuolle tulee este kappaleessa olevan vian tai särön vuoksi, näkyy kyseinen vika vuotokenttänä, jolla on kappaleeseen nähden vastakkainen napaisuus. Tästä aiheutuva indikaatio muodostuu kappaleen pinnalle lisätystä rautahiukkasista jotka tarkastuksessa kerääntyvät ja jäävät vuotokenttään paljastaen särön sijainnin, muodon ja osittain myös laajuuden. (Kuva 3.) [1 ; 2 ; 4.]



Kuva 3. Magneettivuon kulku magneettijauhetarkastuksessa [4.]

### 2.2.2 Magneettijauhetarkastuksen eteneminen

Magneettijauhetarkastuksessa tutkittavan kappaleen pinnan täytyy olla puhdas irtonaisista hiukkasista, jotka muuten saattaisivat vaikeuttaa tarkastusta ja tuloksen tulkintaa. Myös maalattuja ja päällystettyjä pintoja voidaan tarkastaa edellyttäen, että päällystetyn kerroksen paksuus ei ole liian suuri, yleisesti voidaan hyväksyä noin 100 µm:n paksuisia pintakalvoja ja tarkoissa töissä korkeintaan 50 µm:n paksuisia pintakalvoja. [1 ; 2 ; 4.]

Tutkittavan kappaleen pintaan syntyviä vikoja voidaan tutkia värjätyllä tai fluoresoivalla menetelmällä. Fluoresoivan menetelmän parempi tarkkuus ei perustu magneettisiin ominaisuuksiin vaan ihmissilmän erotuskykyyn. Fluoresoivassa menetelmässä kappaleen pinnalle lisättävät aineet ovat fluoresoivia ja ne paljastavat pienet säröt selvästi paremmin kuin värillinen menetelmä, joten se on luotettavampi. [1 ; 2 ; 4.]

Kappale magnetoidaan tilanteeseen sopivalla magnetointimenetelmällä ja laitteilla. Usein käytetään iesmagnetointilaitteita, jotka kannettavuutensa ja pienen kokonsa vuoksi sopivat moniin erilaisiin ratkaisuihin. Raskaampiin ja tarkempiin tarkastuksiin voidaan käyttää myös kiinteitä virtalähteitä ja magnetointipenkkejä. [1 ; 2 ; 4.]

Magneettijauhetarkastuksessa esiintyvät indikaatiot on tulkittava tarkasti. Syntyneet indikaatiot voivat olla myös ns valeindikaatioita, jotka voivat olla peräisin vuotokentästä mutta eivät varsinaisesti viasta. Tämän vuoksi kaikki indikaatiot on tutkittava perusteellisesti. [1 ; 2 ; 4.]

### 2.2.3 Magneettijauhetarkastuksen käyttömahdollisuudet

Magneettijauhetarkastuksen luotettavuus ja tarkkuus riippuvat monista seikoista kuten magneetikentän voimakkuudesta ja suunnasta sekä tutkittavasta kappaleesta ja sen magneettisista ominaisuuksista. Myös kappaleen pinnanlaatu vaikuttaa oleellisesti, kuten pinnan karheus tai maalikalvon paksuus. Lisäksi vaikuttavat käytettävän magneettijauheen ominaisuudet kuten permeabiliteetti, raekoko, väri, sekoitussuhde ja kanttoneste. [1 ; 2 ; 4.]

Magneettijauhetarkastus on yksi herkimmistä ja varmimmista menetelmistä löytää ferromagneettisten materiaalien pintaviat. Havaittavat säröt voivat olla muutaman mm:n pituisia ja muutaman  $\mu\text{m}$ :n levyisiä. Tarkastuksen tärkeimpiä etuja ovat sen herkkyys, varmuus, yksinkertaisuus, nopeus ja edullisuus. Rajoituksiakin kyseisellä tarkastuksella löytyy. Tärkeimpinä niistä mainittakoon vain ferromagneettisille kappaleille soveltuvan rajoituksen lisäksi magneettivuon suunnan merkitys, pinnan alla olevien epäjatkuvuuskohtien indikoinnin epävarmuus, mahdolliset suurien virtojen aiheuttamat polttojäljet ja kuumeneminen. Lisäksi kappaleen geometria saattaa vaikeuttaa riittävän kentän aikaansaamista tarkastettavaan kohteeseen ja syntyneiden indikaatioiden oikea tulkinta ja arviointi vaatii kokemusta ja tietoa. [1 ; 2 ; 4.]

## 2.3 CEN-standardit

Thomas Åström [19.] kuvaa CEN-standardeja seuraavasti:

Eurooppalaisella tasolla NDT-alan CEN-standardeja alettiin valmistella vuonna 1989. Standardit valmistellaan työryhmissä, joissa on edustettuna eri maiden asiantuntijoita.

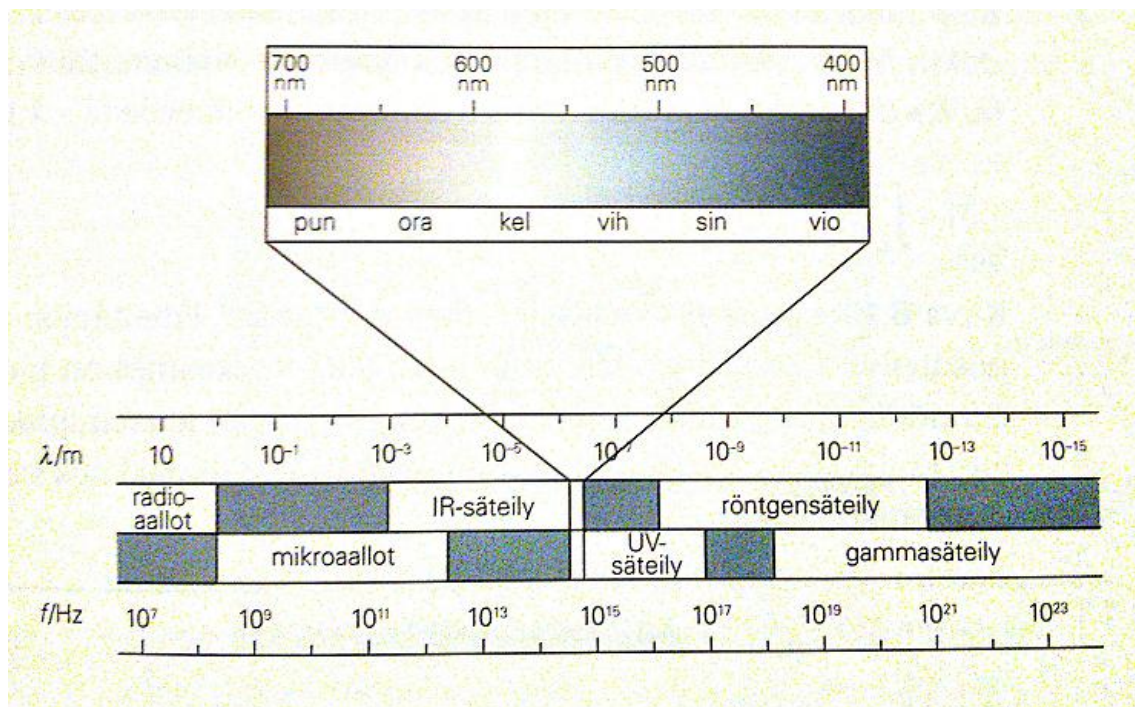
Näitä standardeja SFS on kerännyt käsikirjoihin (esim. SFS 116-1. Hitsien tarkastus.Osa 1. Rikkomaton aineenkoetus, 2006. 428 s.). Käsikirjojen standardit ovat pitkälti kaksikielisiä (suomi/englanti) ja toimivat näin ollen käyttökelpoisina referensseinä termeille ja alan käsitteille. Nyt CEN standardeja ollaan pitkälti hyväksymässä myös kansainvälisiksi ISO-standardeiksi, mikä käytännössä tarkoittaa, että niitä uusitaan ja muutetaan vastamaan ISO:n vaatimuksia.

Magneettijauhe- ja tunkeumanestealalta löytyy yksi yhteinen valaistusominaisuuksia koskeva standardi. Standardiin tulee joitakin lisäyksiä uusien UV-lamppujen myötä. Lisäksi CEN: n työryhmissä tehdään tekninen paperi, joka koskee UV-valon korvaamista sinisellä valolla. Ajatus on kiehtova, koska sinisen valon työturvallisuus on parempi kuin UV-valon. Kalibrointiin liittyy kuitenkin vielä useita ratkaisemattomia asioita, joten standardia tästä menetelmästä ei vielä voida tehdä.

### 3 Valaistuksen teoriaa

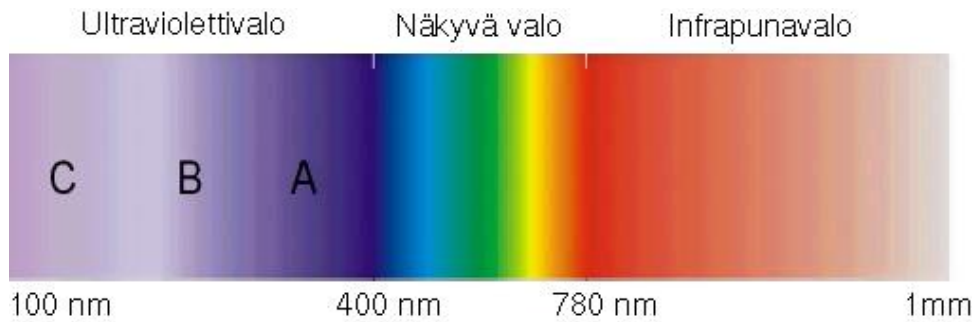
#### 3.1 Valon aallonpituus ja spektri

Sähkömagneettisen säteilyn spektrillä tarkoitetaan säteilyn intensiteetin aallonpituusjakamaa tai intensiteetin jakautumista taajuuden tai kvantin energian funktiona. Spektri jaetaan syntytapansa mukaan aallonpituus- tai taajuusalueisiin, joista ihmissilmälle näkyvän valon alue on vain pieni osa, noin 380 nm–750 nm. (Kuva 4.) [7 ; 8 ; 9.]

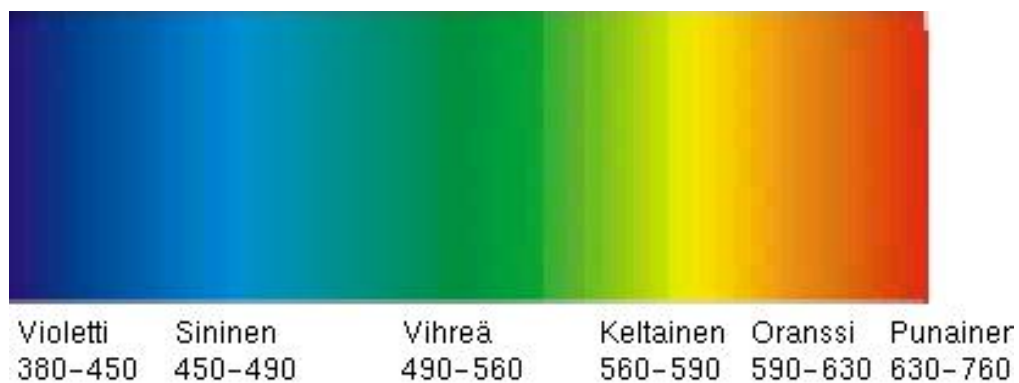


Kuva 4. Aallonpituuksien jakautuminen [8.]

Spektri voi olla joko jatkuva tai viivaspektri. Hehkuvan kiinteän aineen emittoiman valon spektri on jatkuva. Epäjatkuva spektri on taas esimerkiksi harvennetun kaasun synnyttämällä valolla. Jatkuvassa spektrissä värit vaihtuvat toiseen ilman rajoja kun taas viivaspektri nähdään erivärisinä viivoina. Valon väri riippuu valon aallonpituudesta. (Kuva 5 ja 6.) [7 ; 8 ; 9.]



Kuva 5. Aallonpituuksien värit [10.]



Kuva 6. Aallonpituuksien värit tarkennettuna [10.]

Tavallisesti eri valonlähteiden valo syntyy aineen atomien energiatilojen muutoksena. Atomi voi vastaanottaa tai luovuttaa energiaa, kun perustilassa oleva atomi absorboi energiaa, se virittyy. Virittyneen atomin siirtyessä alempaan energiatilaan emittoituu tilojen energiaerotusta vastaava fotoni. Viritystilojen purkautuessa syntyy sähkömagneettista säteilyä, jonka taajuus on  $f$  ja aallonpituus  $\lambda$ . [7 ; 8 ; 9.]

$$hf = \frac{hc}{\lambda} = \Delta E$$

Kaasupurkausputkessa atomit virittyvät pääosin elektronien törmäysten seurauksena. Virittyminen voi olla myös ionitörmäysten tai sähkökentän aiheuttama. Kun viritys aikaansaadaan sähkömagneettisella säteilyllä, viritystilojen purkautuessa syntyvää säteilyä nimitetään fluoresenssisäteilyksi. Myös röntgen- ja UV-säteilyn aiheuttaman virityksen tuloksena voi syntyä säteilyä, jonka aallonpituus on näkyvän valon alueella. [7 ; 8 ; 9.]



### 3.2 Ultraviolettisäteily

Ultraviolettisäteilyksi kutsutaan näkyvää valoa lyhytaaltoisempaa sähkömagneettista säteilyä, joksi voidaan laskea alueella 10 - 400 nm esiintyvä säteily. Se jaetaan ISO-21348-standardin mukaisesti eri alueisiin, joista tärkeimmät ovat UVA-, UVB- ja UVC-säteily. Lyhyt aallonpituus merkitsee sitä, että ultraviolettisäteilyn taajuus ja fotonin energia on suuri. (Taulukko 1.) [1 ; 7 ; 20.]

UV-säteilyä syntyy atomien ja molekyylien energiamuutoksissa jotka ovat suurempia kuin näkyvää valoa synnyttävät siirtymät. Lyhyt ultraviolettisäteily on haitallista eliöille ja useimmille materiaaleille, jos altistumiskertoja esiintyy usein, kestävät pitkään ja kertaannokset ovat suuria. [1 ; 7 ; 20.]

Taulukko 1. Ultraviolettisäteilyn aallonpituuksia (ISO-21348) [20.]

Name	Abbreviation	Wavelength range	Energy per photon
<b>Ultraviolet</b>	UV	400-100 nm	3.10-12.4 eV
Ultraviolet A	UVA	400-315 nm	3.10-3.94 eV
Ultraviolet B	UVB	315-280 nm	3.94-4.43 eV
Ultraviolet C	UVC	280-100 nm	4.43-12.4 eV
Near Ultraviolet	NUV	400-300 nm	3.10-4.13 eV
Middle Ultraviolet	MUV	300-200 nm	4.13-6-20 eV
Far Ultraviolet	FUV	200-122 nm	6.20-10.16 eV
Hydrogen Lyman-alpha	H Lyman-a	122-121nm	10.16-10.25 eV
Extreme Ultraviolet	EUV	121-10 nm	10.25-124 eV
Vacuum Ultraviolet	VUV	200-10 nm	6.20-124 eV

### 3.3 Ultraviolettivalaistus

Tunnetuin ultraviolettisäteilyn käyttökohde on mustavalolampuksikin kutsuttu loistelamppu eli UV-lamppu, joka sisältää fosforia putken sisäpinnalla minkä vuoksi säteilevä valo on UVA-valoa näkyvän valkoisen valon sijaan. Se lähettää pitkäaaltoista UVA-säteilyä sekä jonkin verran violettiä valoa. UV-lampun lasi on tyypillisesti violetti, jotta mahdollinen näkyvä violetti valo saadaan häivytytyksi. UV-säteily on ihmisilmälle näkymätöntä, mutta kun UV-säteilyä kohdistetaan tiettyihin materiaaleihin, ne hohtavat kirkkaina fluoresenssin tai fosforesenssin vaikutuksesta. Näiden lamppujen UV-säteilytaajuus on enimmäkseen alueella 365 nm. Mustalamppuja valmistetaan erilaisiin valaistusratkaisuihin sekä tutkimuskäyttöön. Ihmisen altistuminen mustavalolampun lähettävälle UVA-valolle ei ole vaarallista. [1 ; 7.]

Lyhytaaltoultraviolettilampuiksi kutsutaan 253 nm:n alueella olevaa ultraviolettisäteilyä lähettävää lamppua. Näitä lamppuja valmistetaan elintarviketeollisuuden ja erilaisten laboratoriojärjestelmien käyttöön sekä veden puhdistukseen, koska lyhytaaltoisella ultraviolettisäteilyllä on desinfioiva vaikutus. Lyhytaaltoultraviolettilampun lähettämä säteily on ihmiselle haitallista. [1 ; 7.]

Valodiodeja eli ledejä voidaan valmistaa lähettämään valoa ultraviolettisäteilyn aallonpituudella, vaikkakin käytännössä alle 365 nm:n taajuuksien muodostaminen on rajallista. Led-hyötysuhde aallonpituudella 365 nm on vain noin 5 - 8 % kun taas aallonpituudella 395 nm se on jo lähemmäs 20 % tehokkuuksien ollessa myös paremmat. [1 ; 7.]

## 4 Sinisen valon käyttö ultraviolettivalon sijasta

### 4.1 Sinisen valon tutkiminen

Ensimmäiset siniset tutkimusvalot olivat halogeeneja, joita ylikuumennettiin, jotta saatiin sinisen valon spektrit esiin, minkä jälkeen ylimääräiset aallonpituudet leikattiin pois käyttämällä sopivia suodattimia. Näin saatiin halogeeneista käyttöön ainoastaan valon siniset spektrit, joiden käyttöä sovellettiin teollisuuden käyttöön esimerkiksi vuotojen havaitsemiseen. [11.]

Nykyään NDT-tarkastuksissa käytettävien sinisten valojen ensisijainen aallonpituus on noin 450 nm. Näitä käytettäessä alle 470 nm olevat aallonpituudet suodatetaan pois erillisillä keltaisilla laseilla tai suodatinlevyillä, jolloin jäljelle jäävät halutut yli 470 nm olevat aallonpituudet ja tutkittavassa kappaleessa olevat havainnot erottuvat selkeämmin. (Kuva 7). [11.]

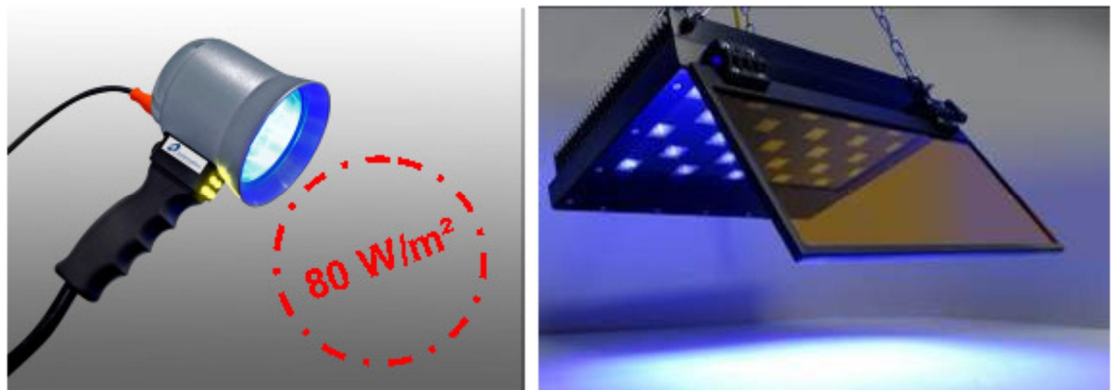


Kuva 7. Taskukokoinen sinistä valoa lähettävä tutkimusvalaisin sekä keltaiset suodatinlasit

## 4.2 Sinisen valon etuja

Sinisen valon etuja NDT-tarkastuksissa verrattaessa tavallisesti käytettävään UV-valaistuksella tehtävään tarkastukseen on useita. Nykyään edelleen kehittynyt ja yleistynyt led-teknologia on mahdollistanut sinisen valon käytön. Sinisen valon etuja ovat parempi kontrasti, optimoitu fluoresointi sekä siitä saatava käytettävä valon määrä verrattuna UV-valaistukseen. [11.]

Led-teknologiaa käytettäessä sininen valo on välittömästi käytettävissä täydellä teholla heti kytkemisen jälkeen, sillä ei ole erityistä kytkemisen jälkeen tapahtuvaa odotusaikaa täyteen tehoon. Sinistä valoa lähettävän led-lampun tehonkulutus on myös suhteellisen pieni verrattuna UV-valoon, joten se ei lämpeä käytössä yhtä paljon, joten sitä on helpompi käsitellä eikä synny mahdollisesti testituloksia häiritsevää ylimääräistä lämpöä. Matalamman tehonkulutuksen vuoksi sitä on myös helpompi soveltaa liikkuvissa töissä, koska virtalähteenä voidaan käyttää paristoja. Liikkuviin töihin soveltaminen on myös mahdollista elohopealamppua paremman iskunkestävyytensä vuoksi. (Kuva 8.) [11.]



Kuva 8. Malleja käytettävistä valaisimista [11.]

Käytön kannalta sininen valo on myös riskittömämpi, koska henkilöstöön kohdistuvaa haitallista UV-valoa ei synny. Lisäksi sinistä valoa käyttävän led-lampun elinikä on moninkertainen tavalliseen elohopealamppuun verrattaessa. [11.]

## 5 Tutkimuksen tarkoitus

Tässä työssä pyritään selvittämään, miten sinisellä valolla tehtävä tarkastus eroaa UV-valolla tehtävästä tarkastuksesta ja miten eri valaistuksilla kappaleissa olevat virheet eroavat toisistaan. Työssä testataan myös, miten työhön valittujen valmistajien NDT-kemikaalit soveltuvat sinisellä valolla tehtävään tarkastukseen. Tarkastuksia tehtäessä otetaan huomioon myös ympäröivä huoneen valaistus ja sen vaikutus näyttämiin.

Tarkastukset tehtiin Metropolia Ammattikorkeakoulun materiaalitekniikan laboratoriossa.

## 6 Työssä esiintyvät yksiköt

### 6.1 Luksi (lx)

Luksi on SI-järjestelmän yksikkö valaistuksen ja säteilyn mittaamiseen. Se mittaa valaistuksen voimakkuutta pinta-alayksikköä kohti ja on sama kuin yksi lumen per neliömetri. [12.]

$$1 \text{ lx} = 1 \text{ lm/m}^2$$

Valaistusmittarissa luksia käytetään korvaamaan ihmissilmän aistima valon intensiteetti, kun valo läpäisee pinnan tai osuu pintaan. Taulukossa 2 on esimerkkejä valaistusvoimakkuuksista. [12.]

Taulukko 2. Esimerkkejä valaistusvoimakkuuksista.

Valaistusvoimakkuus	Pinta
0.0001 lx	Pilvinen yötaivas
0.002 lx	Selkeä yötaivas
0.27-1.0 lx	Täysikuu, selkeä yötaivas
3.4 lx	Hämärä mutta selkeä taivas
50 lx	Huoneen taustavalaistus
80 lx	Käytävän valaistus
100 lx	Tumma ja pilvinen päivä
320-500 lx	Toimiston valaistus
400 lx	Auringon nousu tai lasku
1000 lx	Tavallinen pilvinen päivä
10 000 -25 000 lx	Täydessä päivänvalossa, ilman suoraa auringonvaloa
32 000 - 100 000 lx	Suora auringonvalo

## 6.2 Tesla (T)

Tesla on SI-järjestelmän yksikkö magneettikentän voimakkuuden tai magneettivuon tiheyden mittaamiseen. Teslan määritelmän mukaan kappale joka sisältää 1 coulombin varauksen ja kulkee kohtisuorassa voimakkuudeltaan 1T vahvuisen magneettikentän läpi nopeudella 1m/s, kokee voiman 1 newton. SI-järjestelmän mukaisesti tesla voidaan esittää muodossa:

$$\begin{aligned}
 T &= V * s * m^{-2} = N * A^{-1} * m^{-1} = Wb * m^{-2} = kg * C^{-1} * s^{-1} = kg * A^{-1} * s^{-2} \\
 &= N * s * C^{-1} * m^{-1}
 \end{aligned}$$

[12 ; 13.]

## 7 Työn suoritus

### 7.1 Työssä käytettävät laitteet

#### 7.1.1 Magnaflux ZB100F- ultraviolettivalaisin

Työssä käytettiin UV-valaisinta joka lähettää 365 nm taajuudella olevaa valoa. (Taulukko 3, kuva 9)

Taulukko 3. Valaisimen tekniset tiedot

Taajuus	365 nm
Ulostulo voimakkuus	5000 $\mu\text{/cm}^2$
Näkyvän valon voimakkuus	10 lx@38 cm
Polttimon teho	100 W

 [14.]

Kuva 9. Magnaflux ZB100F UV-valaisin

### 7.1.2 Nightsea Bluestar flashlight

Työssä käytettiin taskukokoista valaisinta joka lähettää sinistä valoa taajuudella 440 - 460 nm. (Taulukko 4)

Taulukko 4. Valaisimen tekniset tiedot

Lähetettävän valon taajuus	~440-460 nm
Ulostulon voimakkuus	6000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ @ 50 cm
Led polttimon teho	~3W
<b>Filtterin ominaisuudet</b>	<b>VG-2 Barrier filter</b>
50% suodatus	500 nm
<1% suodatus	480 nm

Sinistä valoa käytettäessä on käytettävä keltaisia suodatinlaseja. Suodatinlasit suodattavat 500 nm taajuudella (n. 50 %:n suodatus), jolloin haluttu fluoresointi erottuu. (kuva 10.) [15.]



Kuva 10. Sinistä valoa lähettävä tutkimusvalo ja sen yhteydessä käytettävät lasit



### 7.1.3 UVM-8-säteilymittari

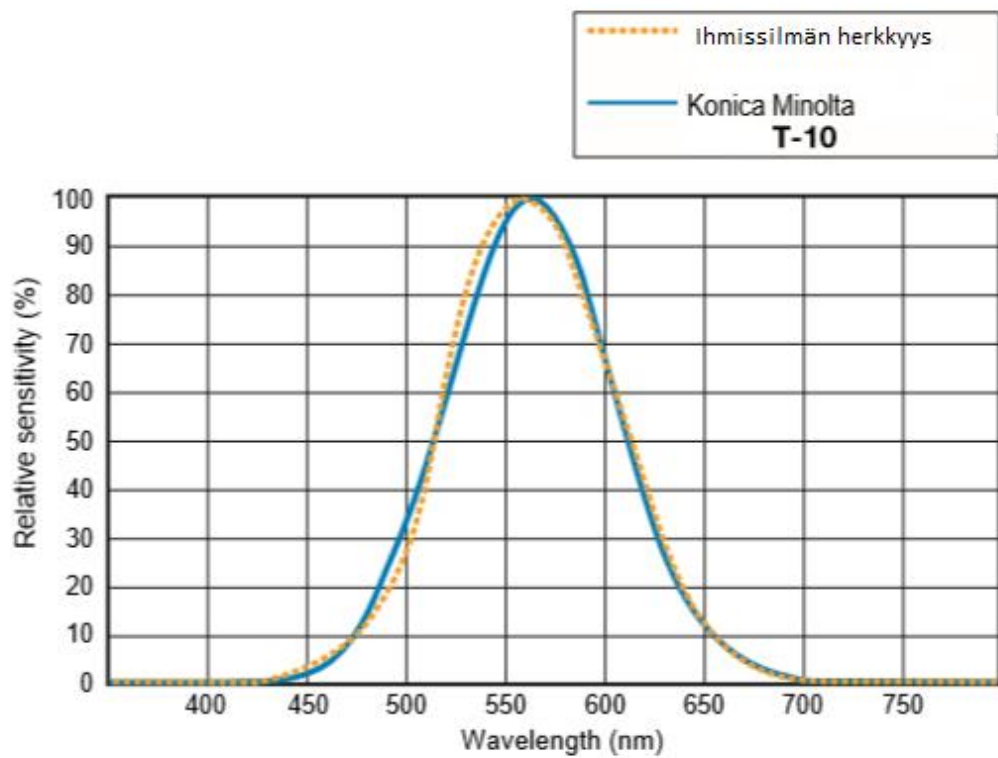
UVM-8 (kuva 11) on Karateknikka oy:n valmistama ultraviolettisäteily- ja valaistusmittari, joka soveltuu sekä kenttä- että laboratoriomittauksiin. UVM-8:n runkoon voidaan liittää valaistusvoimakkuus- eli luksianturi, valotiheysanturi tai kolme erilaista ultraviolettisäteilyanturia. Lisäksi on saatavilla tiettyjä erikoisantureita. Työssä käytettiin UVM-8A-anturia, joka toimii pitkäaaltoisella UV A- alueella, jossa aallonpituus on välillä 315 - 400 nm. [16.]



Kuva 11. UVM-8 säteilymittari

#### 7.1.4 Minolta T-10-luksimittari

Minolta T-10 on valaistusmittari, jolla pystytään mittaamaan keskimääräisiä valaistuksen arvoja tietyssä pisteessä. Sitä voidaan käyttää välillä 0.01 - 299 900 lx. Sen suhteellinen spektrin herkkyys vastaa ihmissilmän hämäränäkökykyä 8 % virheellä. (kuva 12) [17.]



Kuva 12. Minolta T-10:n herkkyys [17.]

### 7.1.5 Phywe teslameter -magneetikenttämittari

Phywe teslameter (kuva 13) on mittari magneettivuon tiheyden mittaamiseen. Mittarissa on kolme valittavaa mittausaluetta:

0-20mT(tarkkuus 0.01mT)

0-200mT(tarkkuus 0.1mT)

0-1000mT(tarkkuus 1mT)

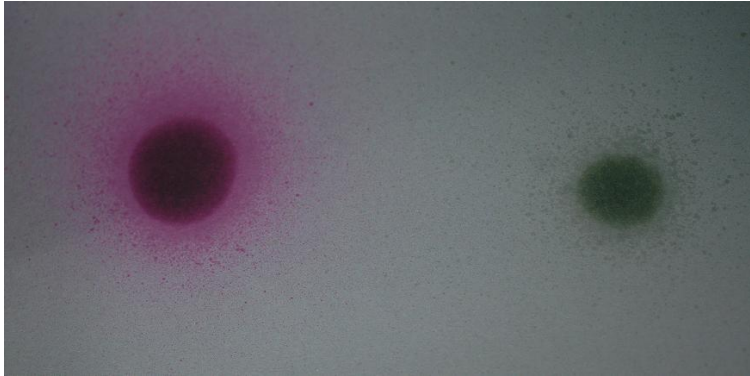
Mittarissa käytetään tangentialista hall-anturia. [18.]



Kuva 13. Phywe teslameter-magneetikenttämittari [18.]

## 7.2 Alkuvertailua sinisen valon ja ultraviolettivalon välillä

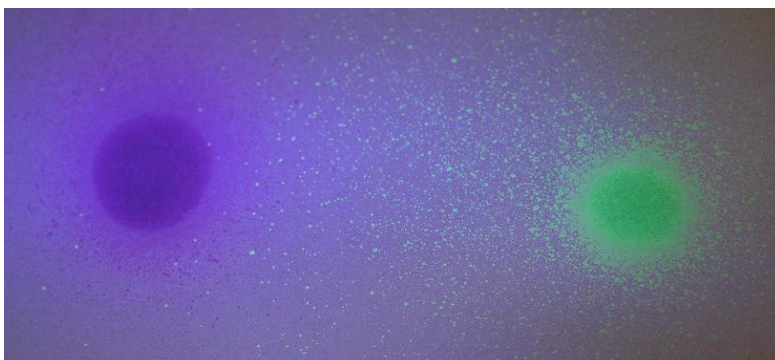
Aluksi suoritettiin silmämääräistä vertailua tunkeumanesteiden avulla UV- sekä sinisen valon välillä. Alustana toimi heijastamaton harmaa paperi, johon suihkutettiin punertavaa (Mr Chemie) tunkeumanestettä sekä keltaista (Bycotest) tunkeumanestettä. (Kuvat 14-19)



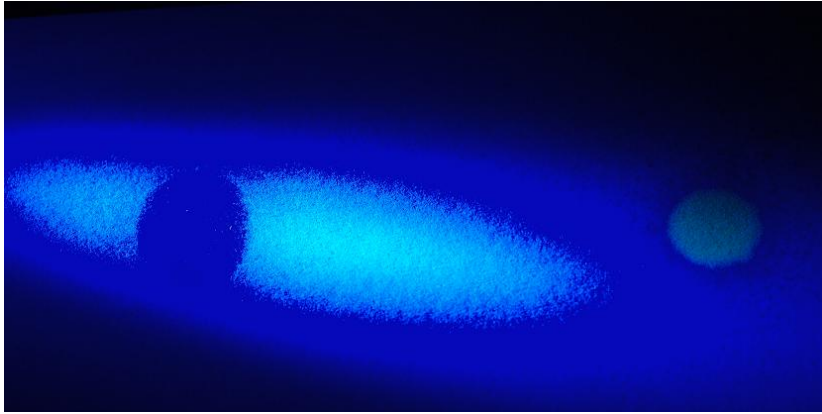
Kuva 14. Tunkeumanesteet pelkässä huoneenvalossa



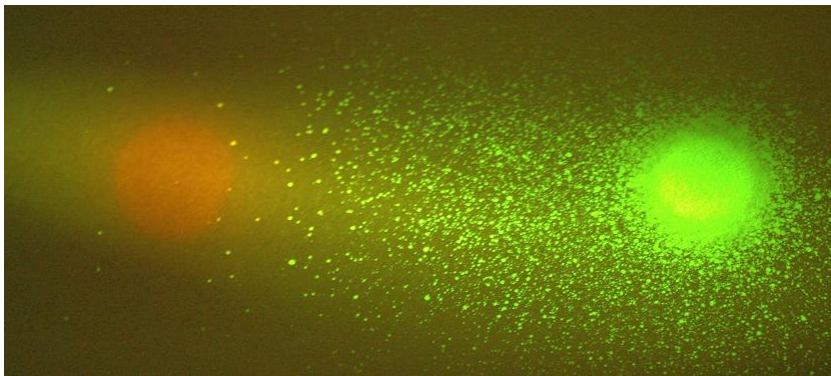
Kuva 15. Tunkeumanesteet valaistuna uv-valolla pimeässä



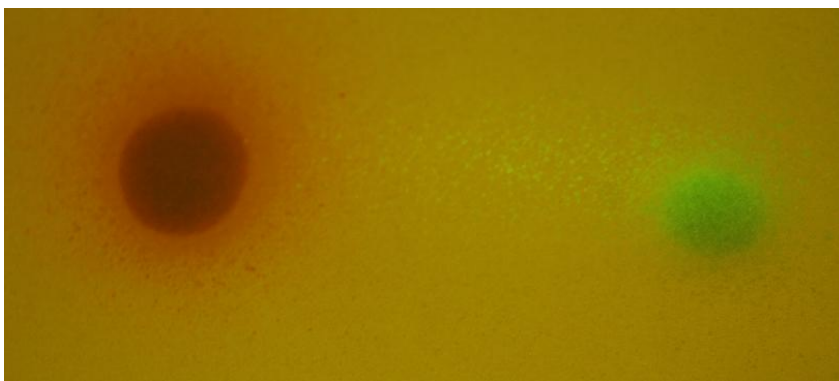
Kuva 16. Tunkeumanesteet valaistuna UV-valolla valaistussa huoneessa



Kuva 17. Tunkeumanesteet valaistuna sinisellä valolla ilman filteriä pimeässä huoneessa. Kuvasta näkyy sinisen valon jakaantumisen alueelle sivulta valaistuna, ei ylhäältäpäin kuten tulevilla varsinaisissa tarkastuksissa



Kuva 18. Tunkeumanesteet valaistuna sinisellä valolla filterin läpi pimeässä huoneessa



Kuva 19. Tunkeumanesteet valaistuna sinisellä valolla filterin läpi valaistussa huoneessa

Nähdään että sekä fluoresoivat keltainen että punertava tunkeumaneste erottuvat molemmissa valaistuksissa.

### 7.3 Testikappaleet

Testeihin valittiin kappaleet, jotka soveltuvat hyvin kyseisiin tarkastuksiin. Magneettijauhetaarkasteluun valittiin lopulta pääasiallisiksi vertailukappaleiksi kaksi taottua terästäolevaa lekanpäätä sekä tunkeumanestetarkastuksiin kaksi nuorrutusterästä olevaa ratasta (kuvat 20 ja 21). Aluksi testikappaleita oli useampia ja kaikissa tiedettiin olevan virheitä eli säröjä. Lopuksi näihin valikoituihin kappaleisiin päätyminen johtui näyttämien selkeydestä jotta voitaisiin keskittyä työn pääasialliseen tarkoitukseen eli vertailemaan eri valaistusten eroja ja toimivuutta valituissa NDT-tarkastuksissa.

Näissä kahdessa testissä käytettiin tarkoituksellisesti keskenään eri kappaleita, koska lekanpäiden selkeä rakenne mahdollisti selvät näyttämät magneettijauhetaarkastuksessa, kun taas rattaiden muoto oli monimutkaisempi. Rattaat sopivat siis paremmin tunkeumanestetarkastukseen.



Kuva 20. Magneettijauhetaarkastuksessa käytettävät kappaleet normaalissa huoneen valaistuksessa



Kuva 21. Tunkeumanestetarkastuksessa käytettävät nuorrutusterästä olevat rattaat

## 7.4 Työn aloitus

Työ pyrittiin tekemään ottamalla huomioon NDT-testien sopivuus suoritettavaksi kenttäolosuhteissa, minkä vuoksi esimerkiksi täydellisesti pimeään huoneeseen käyttö ei ollut työn kannalta oleellista. Jokaisessa testissä huoneen valaistusvoimakkuudet mitattiin sekä valot päällä että ilman.

Työssä vertailtiin kolmen eri valmistajan fluoresoivien tarkastuskemikaalien soveltuvuutta sinisellä valolla tehtävään tarkastukseen ja sen vertaamista UV-valolla tehtävään tarkastukseen. Kaikki aineet saatiin veloituksetta testikäyttöön, käytettäviä aineita olivat: Bycotest / Sintrol, Mr Chemie / NDT-tukku Tekno NDT, Tiede / Sonar. Magneettitarkastukset tehtiin kaikilla kolmella aineella ja tunkeumanestetarkastus Bycotest- ja Mr Chemie-aineilla. Työssä ei ollut tarkoitus vertailla eri aineiden ominaisuuksia keskenään vaan kokeilla, soveltuvatko valitut fluoresoivat aineet sekä uv-valolla että sinisellä valolla tehtävään tarkastukseen.

### Työjärjestys

<b>Magneettijauhetaarkastus</b>	<b>Tunkeumanestetarkastus</b>
Bycotest	Bycotest
Mr Chemie	Mr Chemie
Tiede	

Testi sisälsi yhteensä viisi tallennettua työsuoritusta. Kaikissa testeissä saatuja näyttämiä tutkittiin sekä UV-valolla että sinisellä valolla ja näitä näkyvyyksiä verrattiin keskenään, mikä oli koko työn keskeinen tarkoitus. Osa testeistä toistettiin selkeän tuloksen saamiseksi. Työssä pyrittiin huomioimaan myös ympäröivän huoneen valaistuksen vaikutus suoritettaviin tarkastuksiin sekä niissä käytettäviin tarkastusvalaistuksiin.

Joka koejärjestelmän alussa tutkittavat kappaleet pestiin ultraäänipesurissa (kuva 22) sekä lisäksi puhdistettiin kyseisen sarjan puhdistusaineilla.



Kuva 22. Ultraäänipesuri

## 7.5 Työn eteneminen

### 7.5.1 Huoneen valaistuksen voimakkuudet testien aikana

Jokainen koesarja tehtiin samassa huoneessa saman työpisteen läheisyydessä vertailemalla testien näyttämiä sekä valoisassa että pimeässä huoneessa. Taulukossa 5 on esitetty testien aikana mitatut valaistuksien arvot.

Taulukko 5. Valaistuksen arvot

	<b>Valaistu huone</b>	<b>Pimeä huone</b>
<b>Testi 1</b>	800 lx	7 lx
<b>Testi 2</b>	900 lx	7 lx
<b>Testi 3</b>	850 lx	5 lx
<b>Testi 4</b>	900 lx	3 lx
<b>Testi 5</b>	650 lx	7 lx

Valaistuksien erot johtuvat huoneessa olevasta ikkunasta sekä liikuteltavasta työpöydästä. Arvot ovat mitattu työpöydältä tutkittavien kappaleiden vierestä. Valaistuksen arvot mitattiin Minolta T-10-valaistusmittarilla.



### 7.5.2 Magneettijauhetarkastus

Tarkastus aloitettiin puhdistamalla kappaleet sekä ultraäänipesurissa että kemikaalein. Kappaleiden ollessa täysin puhtaat ja kuivatut ne magnetisoitiin iesmagnetointilaitteella (kuva 23) ja pintaan suihkutettiin fluoresoivaa magneettijauhetta. Kaikissa koesarjoissa magnetoinnin voimakkuus mitattiin samansuuruiseksi magneettikenttämittarilla testien vertailukelpoisuuden varmistamiseksi.



Kuva 23. Käytetty iesmagnetointilaitte Magnaflux corp. Model Y-6

Magneettijauheen lisäämisen jälkeen kappaleissa näkyviä säröjä tutkittiin ensimmäiseksi uv-valolla sekä valoisassa huoneessa että pimeässä huoneessa. Uv-valon voimakkuus mitattiin samansuuruiseksi jokaisessa testissä UVM-8 säteilymittarilla. Seuraavaksi kappaletta tutkittiin sinisellä valolla käyttäen tarkoitukseen valmistettuja keltaisia suodatinlaseja. Ilman suodatinlaseja ei fluoresoivaa reaktiota sinisellä valolla näe. Säröt kappaleissa erottuivat erittäin kirrkaasti ja näkyivät selkeinä.

### 7.5.3 Tunkeumanestetarkastus

Tarkastus aloitettiin puhdistamalla kappaleet sekä ultraäänipesurissa että kemikaalein. Puhdistuksen ja kuivauksen jälkeen kappaleen pinnalle suihkutettiin kappaleeseen tunkeutuvaa fluoresoivaa tunkeumanestettä. Tämän jälkeen kappaleen pinnalta pyyhittiin ylimääräinen tunkeumaneste ja pinnalle suihkutettiin kehite, jolloin kappaleessa olleet säröt tulivat näkyviin.

Tunkeumanestetarkastus toistettiin kaksi kertaa eri aineilla, joista ensimmäinen käytetty aine Bycotest oli kirkas normaalissa valossa näkymätön tunkeumaneste, joka fluoresoi keltaisena, ja Mr Chemie punainen tunkeumaneste, joka fluoresoi oranssihtavana. Käytännössä Mr Chemiellä tarkastus oli helpompi tehdä, koska aineen näki kokoajan mutta kirkkaus oli Bycotestin aineessa parempi, kun ainetta valaisi UV- tai sinisellä valolla.

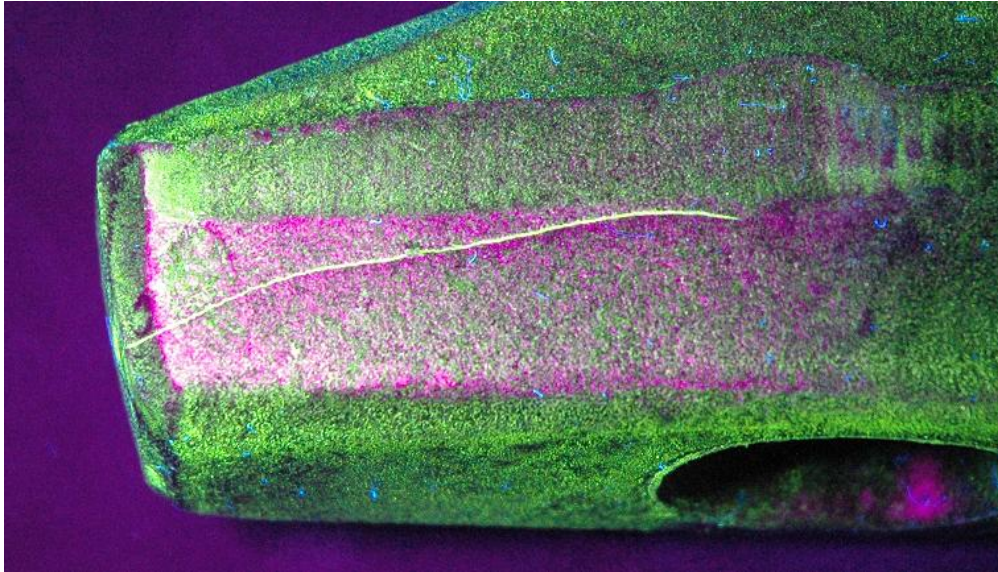
## 8 Tulokset

Tulosten käsittelyssä keskitytään tarkastelemaan eri valaistusten välisiä eroja valituissa NDT-tarkastuksissa ja pyritään näyttämään vain oleellisimmat erot toistetuissa tarkastuksissa. Kuvia tarkasteltaessa täytyy ottaa huomioon sinisen valon näyttämän tuloksen huomattavasti vaikeampi kuvaus filtlerin läpi kuin pelkän UV-valossa tapahtuvan kuvan ottaminen. Lamppuja pidettiin kuvaushetkellä molempia noin 30 cm:n päässä kappaleesta. Kuvat otettiin sekä pimeässä huoneessa että valaistussa huoneessa.

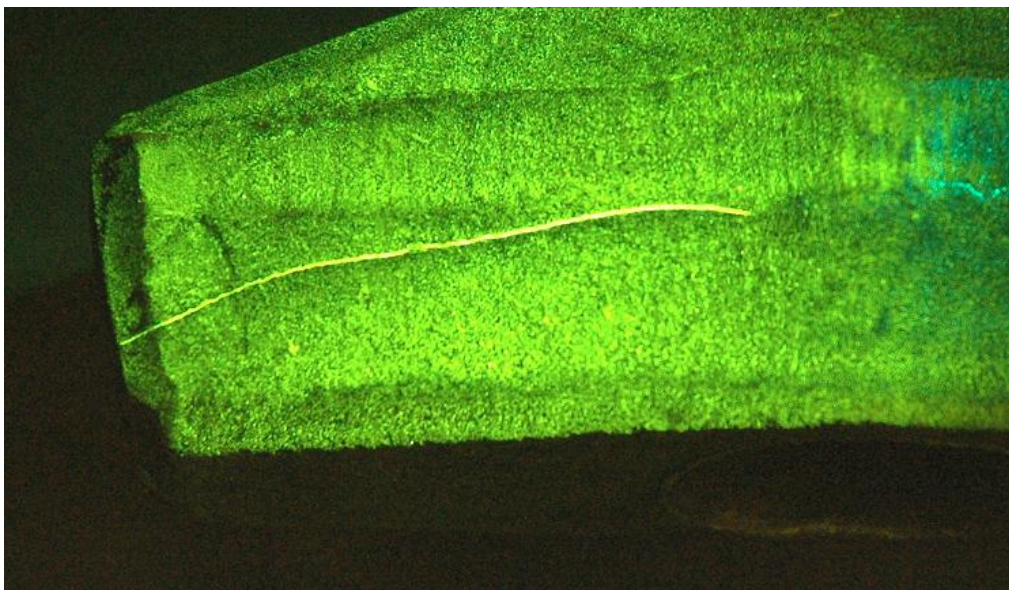
### 8.1 Magneettijauhetarkastus

Käytetyt magneettijauheet havaittiin hyvin vastaavanlaisiksi ja tulokset vastaaviksi. Kaikki käytetyt magneettijauheet sopivat hyvin myös sinisen valon avulla tehtäviin tarkastuksiin.

Kuvissa 24 ja 25 näemme eri tarkastusvaloilla nähtävät erot. Ultravioletivalolla valaistussa kappaleessa (kuva 24) erottuu särö selkeästi muusta pinnasta. Särössä oleva aine erottuu kirkaankeltaisena muun kappaleen heijastaessa myös sinertävää, liilaa, ja vihertävänkeltaista spektriä. Kuvassa (kuva 25) näemme, miten kappaleessa oleva särö tulee esiin sinisellä valolla keltaisen filtlerin läpi. UV-valolla nähtäviä muiden värien spektrejä ei näy, ja kappaleessa oleva tutkittava särö näkyy erittäin kirkaana ja selkeänä. Sinisellä valolla valaistu kappaleen muodostama kuva on rauhallisempi ja selkeä ja samalta etäisyydeltä valaistu kappale loistaa huomattavasti kirkaampana kuin UV-valolla valaistu.



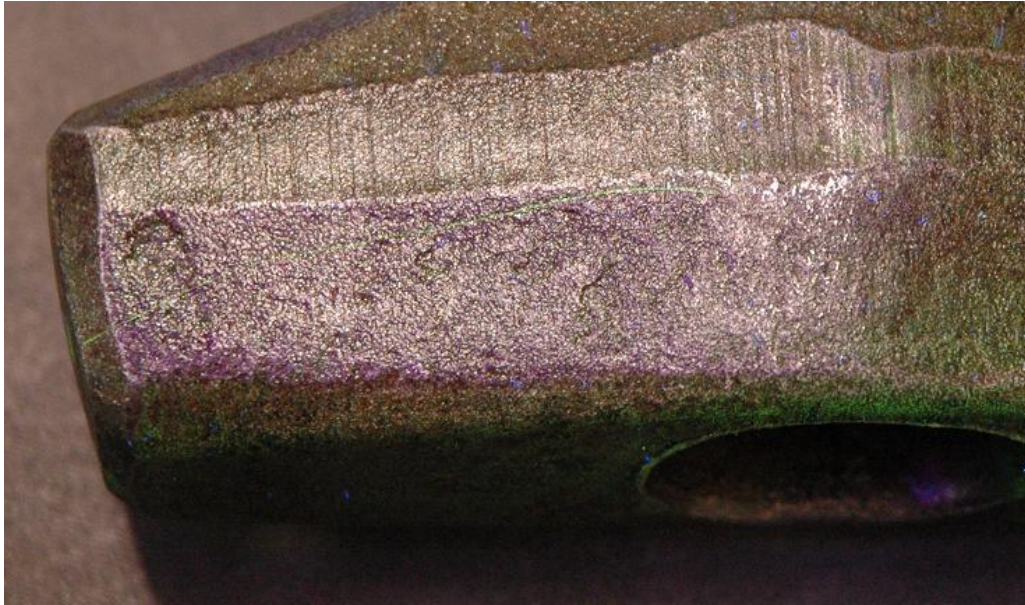
Kuva 24. Kappale 1 valaistuna UV-valolla pimeässä huoneessa, keltafluorisoiva magneettijauhe



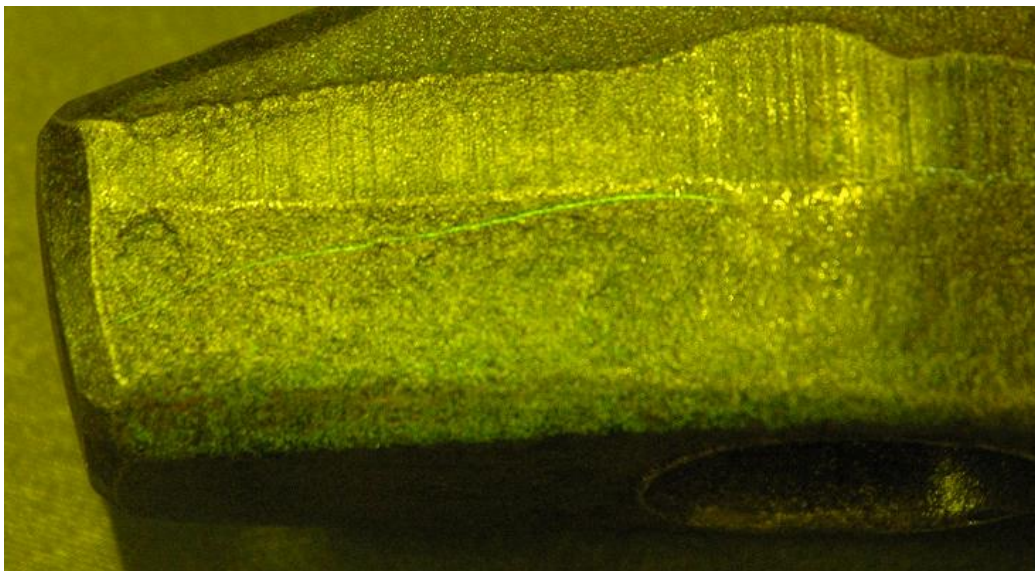
Kuva 25. Kappale 1 valaistuna sinisellä valolla filttarin läpi pimeässä huoneessa, keltafluorisoiva magneettijauhe

Kuvissa 26 ja 27 vertaillaan UV-valolla ja sinisellä valolla valaistuja kappaleita valaistussa huoneessa (800 lx). Huoneessa oleva valaistus odotetusti häiritsi säröjen havaitsemista. UV-valolla valaistusta kuvasta pystyy juuri erottamaan särön mutta käytännössä se vaati jo tarkkaa tarkastelua.

Kuvassa 27 havaitaan, että valaistaessa kappaletta sinisellä valolla, särö näkyy helpommin valoisassa huoneessa kuin UV-valolla valaistaessa. Ulkoinen valo ei tällöin häiritse niin paljoa sinisellä valolla valaistaessa kuin uv-valolla valaistaessa. Ero oli käytännössä ja testiä tehdessä vielä suurempi, mutta sinisen valon vaikeamman kuvattavuuden vuoksi ero ei tule niin selkeänä esiin kuvissa.



Kuva 26. Kappale 1 valaistuna UV-valolla valaistussa huoneessa (800 lx), keltafluorisoiva magneettijauhe



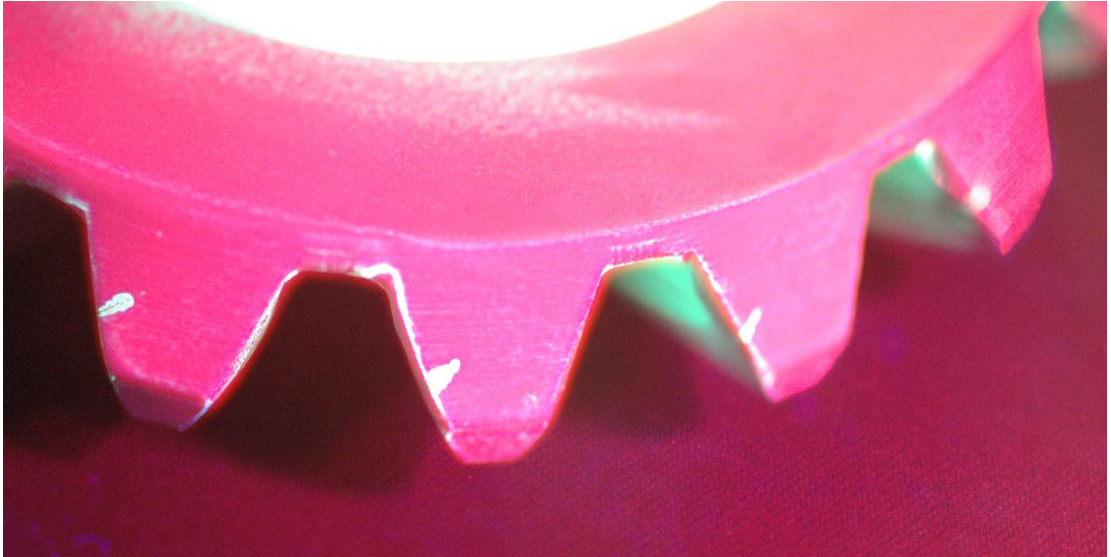
Kuva 27. Kappale 1 valaistuna sinisellä valolla filterin läpi valaistussa huoneessa (800lx), keltafluorisoiva magneettijauhe

Sinistä valoa käytettäessä särön havaitsemista helpottaa valaistussa huoneessa myös se, verrattaessa UV-valolla tehtyyn tarkastukseen, että käytettävät keltaiset lasit eli keltainen filteri näyttää kaiken muun ympäristön tasaisen keltaisena ainoastaan särössä olevan magneettijauheen loistaessa kirkkaampana, UV-valossa etenkin valoisassa huoneessa näin suurta ympäristön rajaamista ei tule ja ympäristön värikkyys häiritsee särön havaitsemista.

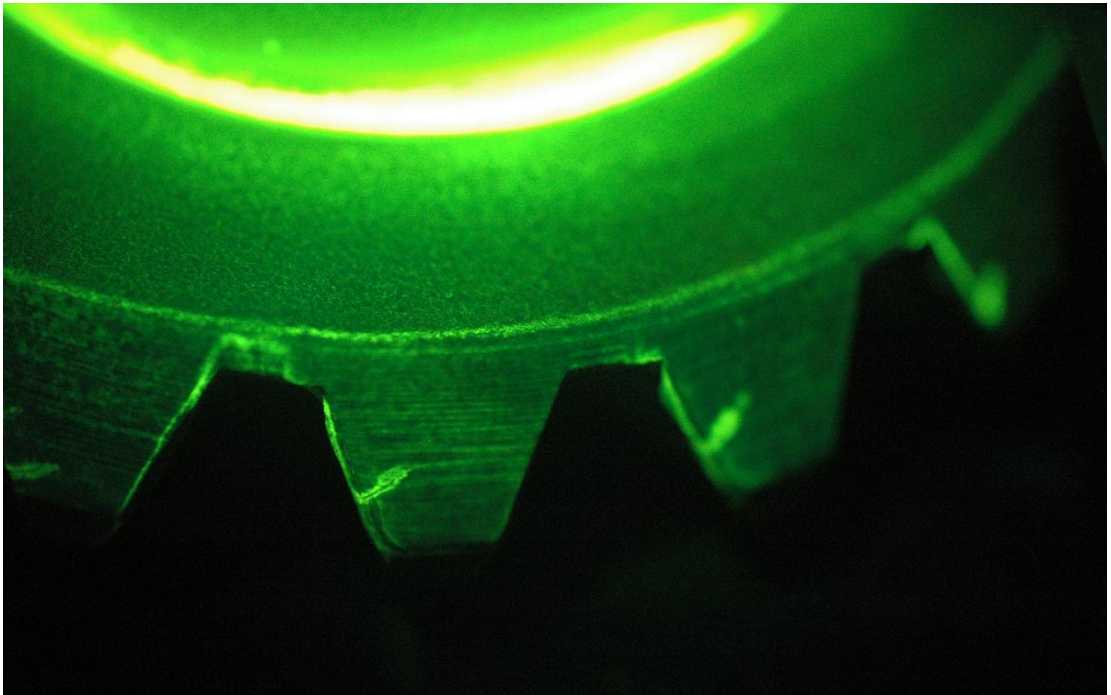
## 8.2 Tunkeumanestetarkastus

Tunkeumanestetarkastuksessa tarkastus tehtiin kahdelle nuorrutusterästä olevalle rat-  
taalle, joissa olevat säröt olivat magneettijauhetestiä pienempiä ja tarkempia. Aineina  
käytettiin Bycotestin keltafluorisoivaa sekä Mr Chemien normaalissa valossa punaista  
mutta oranssihtavana fluorisoivaa tunkeumanestettä.

Tarkastuksessa huomattiin aineista sama tulos kuin magneettijauhetarkastuksessa:  
kaikki käytettävät aineet soveltuivat sekä UV-valolla että sinisellä valolla tehtäviin tar-  
kastuksiin. Myös ulkoinen valaistus vaikutti vastaavalla tapaa tutkittavan kappaleen  
säröjen näkyvyyteen eli UV-valolla tehtävä tarkastelu oli herkempi ulkoiselle valolle ja  
vaikeutti säröjen havaitsemista. Tunkeumanestetarkastuksessa säröt olivat pienen ko-  
konsa vuoksi vaikeat havaita valaistussa huoneessa joten kuvissa 28 ja 29 esiintyy  
ainoastaan vertailua pimeässä huoneessa.



Kuva 28. Ratas kuvattuna uv-valossa pimeässä huoneessa. Tunkeumanesteenä Bycotest.



Kuva 29. Ratas kuvattuna sinisellä valolla filtherin läpi pimeässä huoneessa. Tunkeumanesteenä Bycotest.



## 9 Tulosten tarkastelu ja yhteenveto

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, soveltuuko sininen valo valaisutavaksi fluoresoiville NDT tutkimusmenetelmille. Tehtyjen NDT-tarkastuksien yhteenvetona voi sanoa, että näissä tarkastuksissa käytetyt molemmat valaisumenetelmät soveltuvat hyvin sekä magneettijauh tarkastukseen että tunkeumanestetarkastukseen, joissa käytetään fluoresoivaa menetelmää. Molempien valaisutapojen näyttämä on tarpeeksi selkeä.

Kaikki tarkastuksissa käytettävät aineet sopivat sekä UV- että sinisellä valolla tehtävään tarkastukseen. Tarkastuksissa käytetyillä aineilla oli hyvin vähän eroja, lisäksi eroja toivat kemikaalien spray-purkkien käyttämät suuttimet sekä sitä kautta aineiden suihkutuspäämäärät.

Käytettävien valaisutapojen suurimman eron muodostivat näissä tarkastuksissa käytetyn sinisen valon näyttämän helpompi havaittavuus valaistussa huoneessa, ympäröivä valo häiritsi selvästi vähemmän sinisen valon avulla tehtävää tarkastusta. Lisäksi sinisen valon näyttämä oli poikkeuksetta selkeämpi ja helpommin havaittava, mutta toisaalta ongelmaksi sinisen valon käytössä muodostui sen näyttämän vaikea kuvaaminen tavallisella kameralla. Tässä työssä käytettävän tavallisen kameran ottamissa kuvissa sinisen valon kuvaaminen filttarin läpi oli haastavaa eikä kuviiin saatu niin selkeää näyttämää kuin todellisuudessa oli. Todellisuudessa sinisellä valolla valaistuissa kappaleissa olevat säröt erottuivat selkeämmin kuin kuvissa. UV-valolla valaistaessa ei ollut niin selkeää eroa.

Jatkoa tutkimukselle voisi olla tässä tutkimuksessa käytetyn kaltaisen sinisen led-valon vertaaminen myös led-tekniikalla toimivaan UV-valoon.

## Lähteet

- 1 ASM handbook volume 17, Nondestructive Evaluation and Quality Control. 1996. 4. painos. United States of America
- 2 NDT-Resource Center. Verkkodokumentti.< <http://www.ndt-ed.org>>. Luettu 10.3.2014.
- 3 Tunkeumanestetarkastus. 1978. Tekninen tiedotus 7/78. Suomen metalliteollisuuden keskusliitto.
- 4 Magneettijauhetarkastus.1978. Tekninen tiedotus 10/78. Suomen metalliteollisuuden keskusliitto.
- 5 Åström, T. 1990. NDT-menetelmien kehitysnäkymät hitsausliitosten tarkastuksessa, Tekninen tiedotus 2/90. Helsinki:MET.
- 6 Ruha, M., Latvala, K., Api, M. & Myöhänen, H. 1999. Valujen ja takeiden NDT-tarkastus. Helsinki: Suomen Hitsaustekniikan Yhdistys.
- 7 Nasa Science. Verkkodokumentti. <<http://missionscience.nasa.gov/ems/>>. Luettu 10.3.2014.
- 8 Suvanto, K. & Laajalehto, K., 2005. Tekniikan Fysiikka 2. Helsinki:Edita.
- 9 Arminen, E., Mäkinen, R., Puhakka, P. & Vierinen, K. 1998. Fysiikan laboratoriotyöt. 2. p. Tampere : Tammertekniikka.
- 10 Suomen Ilmatieteenlaitos. Verkkodokumentti. <<http://www.ava.fmi.fi/oppimateriaali/envisat/valonsade/spektri.html>> Luettu 28.4.2014
- 11 Åström, T. Muistiinpanot, esitelmät ja keskustelut
- 12 Sizes.com. Verkkodokumentti. <<http://www.sizes.com/units/>>. Luettu 3.2.2014
- 13 Techtargget.com. Verkkodokumentti. <<http://whatis.techtargget.com/>>. Luettu 3.2.2014
- 14 Magnaflux.com. Verkkodokumentti. <<http://www.magnaflux.com/Products/LiquidPenetrantInspection/BlackLights/FanCooledBlackLightZB100F/tabid/230/Default.aspx>>. Luettu 12.3.2014
- 15 Mazel C. Blueline NDT. 2014. mazel@bluelinendt.com. Sähköpostit 8.4.2014.

- 16 Karateknikka oy. Säteilymittarin UVM-8 käyttöohje. Helsinki: Karateknikka oy.
- 17 Minolta T-10 luksimittari käyttöohje. 1996. Verkkodokumentti. Konica Minolta Sensing, inc. <<http://www.masontechnology.ie/files/documents/min1.pdf>>. Luettu 17.2.2014.
- 18 Phywe Teslameter käyttöohjeet. PHYWE Systeme GmbH & Co. <http://www.phywe.com/461/pid/4690/Teslameter,-digital.htm>. Luettu 17.2.2014
- 19 Åström, T. 2011. NDT-menetelmät ja niiden käyttö painelaitetarkastuksissa, painelaitteiden käytön ja kunnonvalvonta.
- 20 ISO-21348. Definitions of Solar Irradiance Spectral Categories. Verkkodokumentti. < [http://www.spacewx.com/pdf/SET\\_21348\\_2004.pdf](http://www.spacewx.com/pdf/SET_21348_2004.pdf)> Luettu 28.4.2014

