

Timo Tolonen

# UV-teipin liimajäämien poisto teippikehyksestä: prosessi- ja laitekehitys

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Insinöörityö

15.4.2013

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Timo Tolonen UV-teipin liimajäämien poisto teippikehyksistä: prosessi- ja laitekehitys 63 sivua 15.4.2013
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotantotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Tuotesuunnittelu
Ohjaajat	Yliopettaja Jyrki Kullaa Laitekontrollin päällikkö Christian Laurén
<p>Työssä tutkittiin mikrosysteemi- ja puolijohdeteollisuudessa käytettävän UV-teipin ultraviolettivalolla kovettuvan liiman poistamista teippikehyksistä. Työn tavoitteena oli esittää ratkaisu, jolla vähentää teippikehyksien puhdistamiseen kuluvia resursseja ja vapauttaa operaattorit edistämään tuotantoa sekä parantaa laatua. Laadunparannuksella voidaan saavuttaa yritykselle merkittäviä hyötyjä sahaus-, höyrystys ja AVI-alueilla.</p> <p>UV-teipin liima on erittäin sitkeää ja vaikeasti poistettavaa. Teippikehykset käyvät läpi pitkän ja raskaan puhdistusoperaation, johon kuuluu manuaalinen pesuvaihe. Se on fyysisesti raskas ja epämiellyttävä, sekä heikentää työpaikkahyvintointia. Manuaalinen pesuvaihe vaatii paljon operaattorin aikaa ja lopputuloksen laatu on heikko. Pesu suoritetaan käytännön syistä puhdistilassa, johon se likaisena ja tilaa vievänä prosessina ei sovi.</p> <p>Työ aloitetaan tutustumalla teippikehyksiin ja prosesseihin, joissa niitä käytetään. Työssä kartoitetaan teippikehyksiin liittyvät ongelma-alueet ja paneudutaan niiden ratkaisemiseen. Liimanpoistoon perehdytään tutkimalla erilaisia tapoja poistaa liima. Samalla tutkitaan liimajäämien syntymiseen johtavia juurisyitä ja työssä päädytäänkin ratkaisemaan yksi löydetyistä juurisyistä käyttämällä hyväksi UV-teipin luontaisia ominaisuuksia. Ratkaisussa valotetaan teipin osuus, josta liimajäämät syntyvät teippausprosessin teippauslaitteessa.</p> <p>Työn teoriaosassa tutustutaan valotustekniikoihin ja kehitetään uusi menetelmä valottaa UV-teippi markkinoilla olevilla UV-ledeillä. Tähän tarkoitukseen rakennetaan valotustestipenkki ja suoritetaan teipin valotuskokeita. Kokeissa todistetaan valotusteorian toimivuus ja määritetään valotukseen vaikuttavat parametrit. Parametreille selvitetään arvoasteikot sillä tarkkuudella, että valotuslaite voidaan suunnitella ja rakentaa.</p> <p>Opinnäytetyössä esitellään ratkaisut kaikkiin projektissa esiin tulleisiin ongelmiin, ja UV-valotinmoduulin suunnittelua varten tehty vaatimuslista. Moduulin suunnittelu teippauslaitteeseen toteutettiin vaiheeseen, jonka perusteella voidaan tehdä yksityiskohtainen suunnittelu.</p>	
Avainsanat	mikrosysteemi, UV-teippi, teippikehys, valotus, UV-ledi, valotinmoduuli

Author(s) Title Number of Pages Date	Timo Tolonen Removal of UV-curable Tape Glue From Dicing Frames: Process and Equipment Development 63 pages 15 April 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Specialisation option	Product Design
Instructor(s)	Jyrki Kullaa, Principal Lecturer Christian Laurén, Manager, Equipment Control
<p>The removal of glue left from UV-curable tape on dicing frames used in the production of micro electro mechanical systems and semiconductors was studied in this Bachelor's thesis. The target of this research was to present a solution to decrease the resources needed to clean dicing frames and free operators for production work while improving quality. Increases in quality regarding this issue can have significant benefits in dicing, evaporation and automated visual inspection areas.</p> <p>To start with, UV-tape glue is ductile and very hard to remove. The dicing frames undergo a long and arduous cleaning process which includes manual cleaning. The manual process is burdensome and unpleasant and decreases well-being at the workplace. Furthermore, the work consumes a lot of the operators' time and the resulting quality is low. The work is done in a cleanroom environment due to practical reasons but is not suited for the cleanroom, as it is dirty and space consuming.</p> <p>The research project was started by studying the dicing frames and processes they are used in. The problem areas were identified and the project concentrated on solving these problems. In addition research was made to find a way to efficiently remove the glue. In addition, research was also made to discover the underlying mechanisms causing the glue residue. The mechanisms were identified as were the possible solutions and finally, the project focused on solving the problem by using the underlying property of UV-curable tape. The suggested solution is to irradiate the area of tape causing the glue residues in the taping process, thus removing the mechanism of glue transfer to the dicing frame.</p> <p>The theoretical part of this thesis concentrates on irradiation techniques and a new technique was developed using the existing readily available UV-LEDs. A test bed was constructed to conduct tape irradiation tests. The theory of irradiating the tape with LEDs was tested in tests run on this test bed, and the effects of different identified parameters were tested as well. A scale for each parameter was created so that an irradiator could be designed and built.</p> <p>Finally, solutions for all the identified problems are presented as well as a list of demands for designing an UV-irradiation module. The design of the irradiation module was made to a point from which a more detailed design can be continued.</p>	
Keywords	microelectromechanical systems, UV-curable tape, dicing frame, UV-LED, UV-irradiation module

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Mikrosysteemit	1
1.2	Kiihtyvyyssanturin toimintaperiaate	3
1.3	Piikiekkojen sahaus	6
2	Teippikehyksien liimanpoistoprojektin lähtökohdat	8
2.1	UV-teipit ja teippikehykset	8
2.2	Ongelmakohtien määrittäminen	10
2.2.1	Liimajäämät teippikehyksissä	10
2.2.2	Teippisoirot	13
2.2.3	Kehyksien pesu	14
2.2.4	Teippaus	18
2.3	Ratkaisun etsintä	19
3	Parannuskohteet	20
3.1	Teippikehyksien kehittäminen	20
3.2	Pesun kehittäminen	21
3.3	Teippikoneiden kehittäminen	24
4	UV-valottaminen	25
4.1	UV-teippi	25
4.2	Teippikoneen parantamisen tutkiminen	26
4.3	UV-lamput	30
4.3.1	Matalapainelamput	30
4.3.2	Korkea- ja keskipainelamput	32
4.3.3	Ultravioletitiledit	34

5	Ultravioletiledin kokeet ja tulokset	37
5.1	Valotusmenetelmän toimivuuden todentaminen	38
5.2	Valotusnopeuden määrittäminen	39
5.3	Teippikoneen simulointi	42
6	Ratkaisut liimanpoistoprojektiin	47
6.1	Liimajäämien poistaminen teippikehyksistä	48
6.2	Teippisoirojen poistaminen teippikehyksistä	49
6.3	Kehyksien ruostumisen estäminen	49
6.4	Kehyksien naarmuuntumisen estäminen	50
6.5	Puhdastilakäsineiden liimaantumisen estäminen	50
6.6	Hajautettujen työpisteiden keskittäminen	51
6.7	Manuaalisen pesuvaiheen poistaminen	51
6.8	Yhteenveto projektin ratkaisuista	52
7	Valotinmoduulin suunnittelu teippikoneeseen	53
8	Yhteenveto	60
	Lähteet	62

## Lyhenteet

3D-MEMS	Kolmiulotteiset mikrosysteemit. Murata Electronics Oy:n termi tarkoittaa piikiekon kuivasyövytyksellä valmistettuja kolmiulotteisia mekaanisia rakenteita ja niiden eristämistä ulkomaailmalta lasi-piiteknologiaan perustuvilla kansikiekoilla.
ASIC	Application Specific Integrated Circuit, mikropiiri, joka on suunniteltu yhden tuotevalmistajan tarpeisiin.
AVI	Automated Visual Inspection, automaattinen visuaalinen tarkastus
B10d	Keskimääräinen toimintajaksojen lukumäärä, johon mennessä 10 % komponenteista vikaantuu vaarallisesti
CCF	Common Cause Failure, yhteisvikaantuminen
DC	Diagnostic Coverage, diagnostiikan kattavuus
ESD	Electrostatic Discharge, staattisen sähkövarauksen purkausilmiö
MEMS	Microelectromechanical System, mikrosysteemit. Komponentti, jossa mekaaninen liike muutetaan sähköiseen signaaliin tai signaali mekaaniseen liikkeeseen. Japanissa käytetään nimitystä Micromachines.
MTTFd	Mean Time To dangerous Failure, keskimääräinen vaarallinen vikaantumisaika
PL	Performance Level, suoritustaso
PLC	Programmable Logic Controller, ohjelmoitava logiikka
PLr	Required Performance Level, vaadittava suoritustaso
UV	Ultraviolet, ultraviolettisäteily

## 1 Johdanto

Tässä insinööriyössä tutkittiin mikrosysteemi- ja puolijohdeteollisuudessa käytettävän UV-teipin ultraviolettivalolla kovettuvan liiman poistamista teippikehyksistä, sekä teipin valottamista. Työn tavoitteena oli vapauttaa operaattoreiden resursseja ja parantaa puhdistuksen laatua, ja siten vähentää yritykselle koituvia kustannuksia, sekä parantaa työpaikkahyvinvointia.

### 1.1 Mikrosysteemit

Silmälle lähes näkymättömiä mikrosysteemejä (MEMS) löytyy nykyään kaikkialta ympäriltämme. Niitä löytyy autoista, puhelimista, tulostimista ja jopa sydämentahdistimista. Käyttötarkoituksia näille pienille koneille on lukemattomia. Tämä 1980-luvulla alkunsa saanut teknologia yleistyy jatkuvasti meidän kaikkien elämässä ja on jo nyt parantanut elämänlaatua ja turvallisuutta [13].

Nykyään kaikissa Euroopan unionissa ja Amerikan Yhdysvalloissa myytävissä uusissa autoissa on ajonvakautusjärjestelmä, ja useimmissa turvatyyny [14 ; 19]. Nämä järjestelmät perustuvat mikrosysteemeihin, jotka mittaavat auton kiihtyvyyttä moneen suuntaan. Ajonvakautusjärjestelmissä anturit mittaavat auton todellista suuntaa, ja sitä verrataan kuljettajan tekemiin ohjausliikkeisiin. Järjestelmä pyrkii pitämään auton hallinnassa ja ohjaamaan sitä kuljettajan valitsemaan suuntaan jarruttamalla yksittäisiä pyöriä [15]. Turvatyynyjärjestelmissä kiihtyvyysanturi mittaa auton kiihtyvyyttä jatkuvasti, ja kiihtyvyyden ylittäessä turvallisen rajan turvatyyny laukaistaan.

Älypuhelimet yleistyvät jatkuvasti, ja myös niistä löytyy mikrosysteemejä. Puhelimen kallistusta mitataan moniakselisilla kiihtyvyys- tai gyroskooppiantureilla (kuva 1), jolloin näytön kuva saadaan kääntymään siten, että se vastaa puhelimen orientaatiota. Mikrosysteemien ansiosta puhelinta voi käyttää vaikkapa peliohjaimena. Sydämentahdistimessa mitataan henkilön aktiivisuutta kiihtyvyysanturilla, ja säädellään sydämen lyöntitiheyttä vastaamaan aktiivisuustasoa.



Kuva 1. Murata Electronics Oy:n SCC1300-gyroskooppianturi [1].

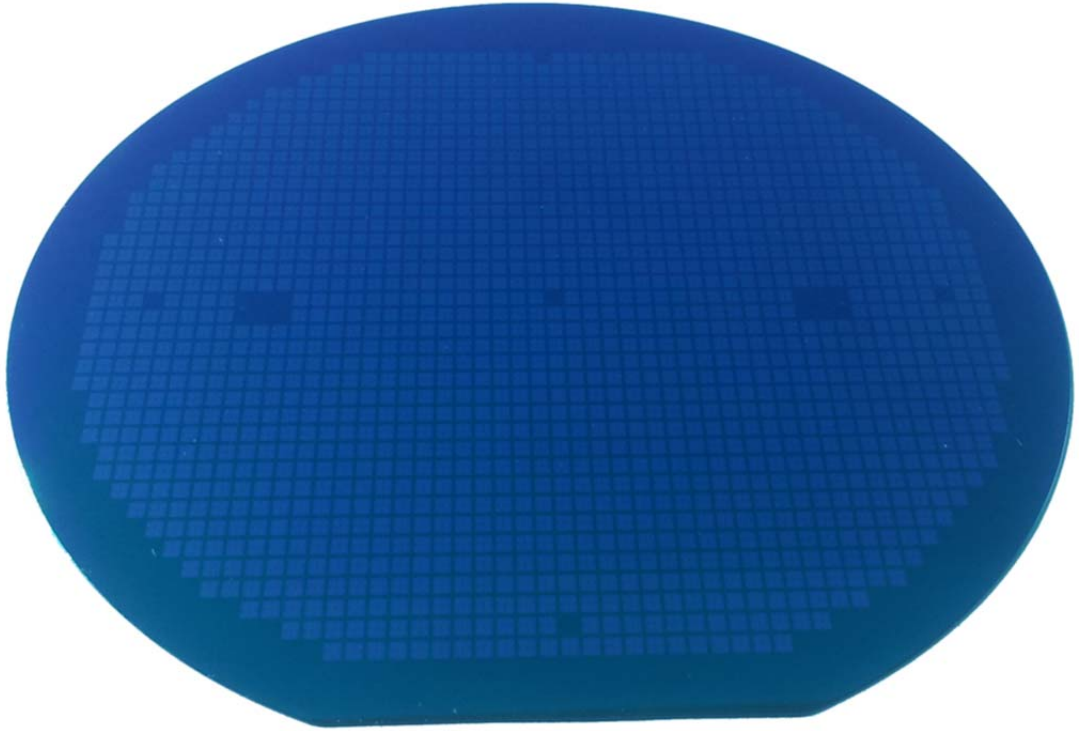
Mikrosysteemit voidaan jakaa kahteen perusr ryhmään, mikrosensoreihin ja mikrotoimilaitteisiin. Mikrosensoreissa muunnetaan mekaaninen liike sähköiseksi signaaliksi. Mikrosysteemissä on mekaaninen mittalaite, jonka liike tuottaa muuttuvan suureen, ja mikropiiri, joka muuntaa mitatun suureen sähköiseksi signaaliksi. Mikrosensorit ovat yleisimpiä mikrosysteemejä. Mikrotoimilaitteissa taas muunnetaan sähköinen signaali liikkeeksi. Mikrotoimilaitteita voidaan käyttää mikroventtiileinä, optisina katkaisimina ja peileinä esim. videotykin kuvan luomiseen. [13.]

Mikrosysteemit rakennetaan puolijohdeteollisuuden menetelmiä käyttäen ja perusmateriaaleina käytetään piitä (Si) ja lasia (SiO<sub>2</sub>). Piitä käytetään sen erinomaisten ominaisuuksien johdosta. Pii ei väsy kuten metallit ja palautuu aina samaan asentoon taivutuksen jälkeen. Tämä tarkoittaa, että pii voi taipua jopa triljoonia kertoja rikkoutumatta. Pii kestää taivutusta suuriin kulmiin, ja kun sen kestävyystaso ylitetään, se murtuu kerralla, eikä siihen tule piileviä vikoja. Tämä on tärkeä ominaisuus esimerkiksi auton ajonvakausjärjestelmissä. Anturin vioittuessa se ei saa lähettää virheellistä tietoa vaan vikaantuminen täytyy pystyä tunnistamaan. [16.]

Elementit valmistetaan yksikiteisille piikiekoille (kuva 2). Yksikiteisessä piissä on timanttirakenne, ja se jatkuu yhtenäisenä koko kappaleen yli. Piikiekot tehdään kasvatamalla piitä sylintereiksi vetämällä piisulasta. Valmiit sylinterit leikataan piikiekoiksi ja kiillotetaan erittäin tasaisiksi [16]. Piikiekot toimivat mikrosysteemien pohjana. Piikie-



koille kasvatetaan erilaisia metalli-, oksidi- ja lasikerroksia ja osia niistä etsataan, jotta saadaan luoduksi kiekolle anturielementtejä. Etsaus tarkoittaa materiaalin poistamista joko syövyttävillä kemikaaleilla, mitä kutsutaan märkäetsaamiseksi, tai plasmalla, mitä kutsutaan kuivaetsaamiseksi.



Kuva 2. 150 mm:n piikieppo, jossa näkyy antureiden alku.

Piikieppoja valmistetaan useita eri kokoja ja paksuuksia. Kiepon paksuus riippuu sovelluksesta, ja sen koko riippuu valmistustekniikasta ja laitteistosta. Yleisimpiä piikiepon kokoja nykyään ovat 100 mm (4"), 150 mm (6"), 200 mm (8") ja 300 mm (12"). Mikrosysteemien elementit ovat hyvin pieniä, ja tuotteesta riippuen niitä mahtuu 150 mm:n piikieppolle satoja tai jopa tuhansia. Näin puolijohdeteollisuuden massatuotantokeinoja käyttäen yksittäisen anturin hinta saadaan pidettyä matalana.

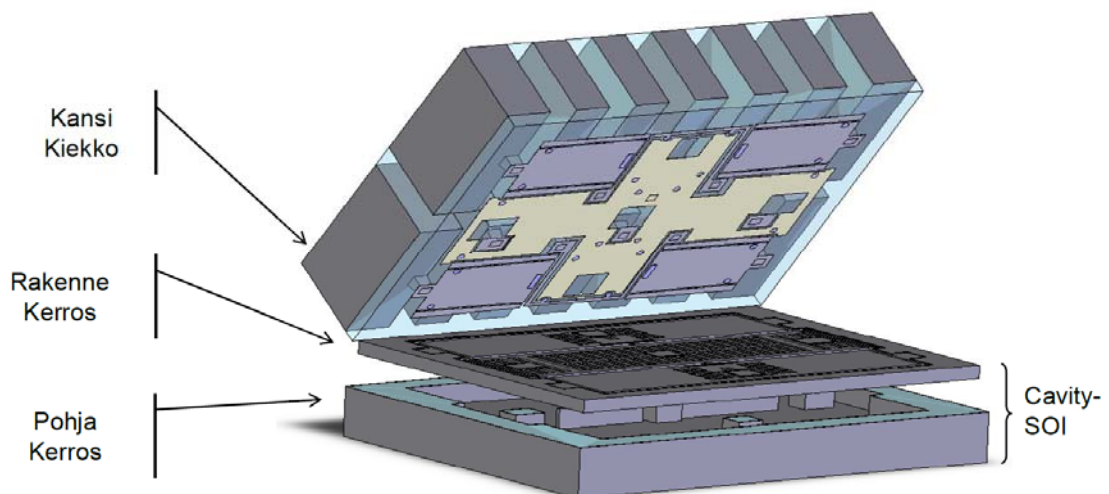
## 1.2 Kiihtyvyyssanturin toimintaperiaate

Tämä insinööriyö tehtiin Murata Electronics Oy:lle, joka on yksi maailman johtavista MEMS-anturivalmistajista. Yhtiön menestys pohjautuu yhtiön omaan 3D-MEMS-

teknologiaan. Muratan anturit mittaavat kiihtyvyyttä, liikettä, värinää, kallistusta ja kulmanopeutta. Tärkeimmät sovellusalueet ovat kuljetusväline-teollisuus, terveysteknologia, erilaiset teolliset käyttökohteet ja kulutuselektroniikka. Murata Electronics Oy on ollut osa Murata Manufacturing Co., Ltd. -konsernia tammikuusta 2012 lähtien, ja aiemmin se tunnettiin nimellä VTI Technologies Oy. [17.]

Kiihtyvyyssanturit koostuvat anturielementistä, mikropiiristä ja niiden suojakotelosta. Suojakotelo suojaa elementtiä ulkoisilta olosuhteilta kuten lämmöltä ja liialta ja samalla toimii anturin asennusrajpintana. Kiihtyvyyssanturit toimitetaan asiakkaalle yleensä koteloituna ja ne kiinnitetään käyttökohteeseen asiakkaalla yleensä juottamalla piirilevyille.

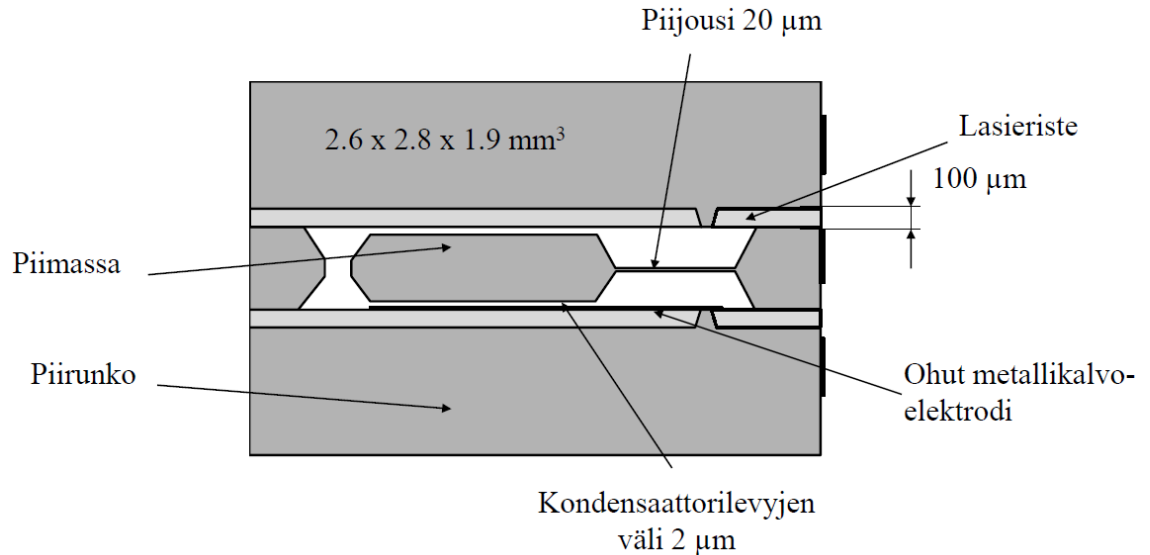
Anturielementit koostuvat kolmesta kerroksesta, pohjakerroksesta ja rakennekerroksesta, jotka yhdessä muodostavat rakennekiekon ja kansikiekosta (kuva 3). Rakenne- ja kansikiekot on valmistettu yksikiteisestä piistä ja lasista Murata Electronics Oy:n omalla 3D-MEMS-tekniikalla.



Kuva 3. Elementin rakenne - DEC alusta [5, s.12]

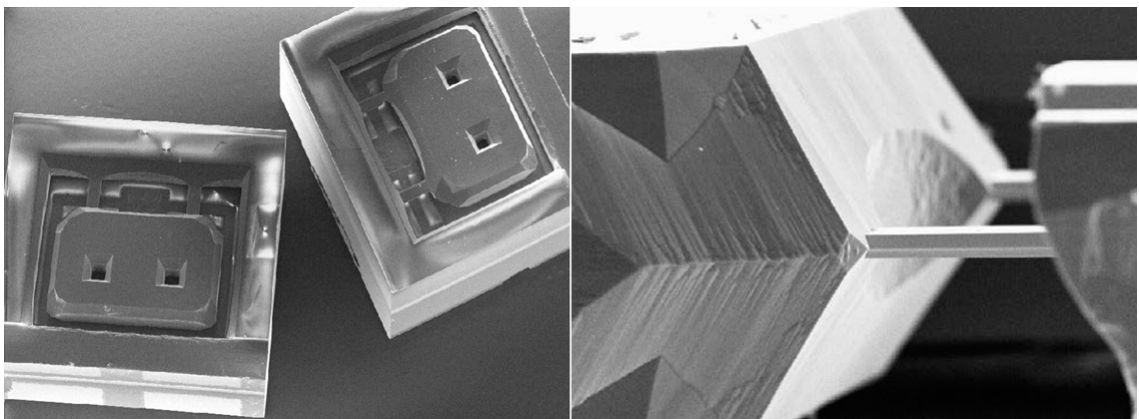
Anturielementin rakennekerroksessa on piimassa (kuva 4), joka pääsee värähtelemään piijousen varassa. Pii-massa saa kiihtyvyydestä herätteen, joka aiheuttaa sen värähtelyn. Kiihtyvyyden suuruus määrittää piijousen värähtelyn suuruuden, tai toisin sanoin amplitudin. Massan suuruus ja jousen jousivakio tunnetaan erittäin tarkasti, jolloin värähtelyn amplitudista voidaan laskea kiihtyvyyden suuruus. Piimassa, lasieriste ja kan-

sikiekko yhdessä muodostavat kondensaattorin. Tällöin piimassan värähtelyn amplitudia voidaan mitata kapasitiivisesti ja erillinen mikropiiri (ASIC) muuntaa suureen sähköiseksi signaaliksi.



Kuva 4. Yksinkertainen kiihtyvyyssanturin elementti vuodelta 1990 [2, s. 20].

Mikrosysteemien rakenteet ovat kooltaan 1 - 100 µm (mikrometriä), tai pienempiä kuin ihmishius (80 µm). Kuvassa 5 on elektronimikroskoopilla otettuja kuvia kuvan 4 mukaisesta kiihtyvyyssanturin elementistä. Vasemmalla näkyy kiihtyvyyssanturin elementti yläperspektiivistä ilman kansikiekkoa ja oikealla näkyy massa jousineen sivusta.



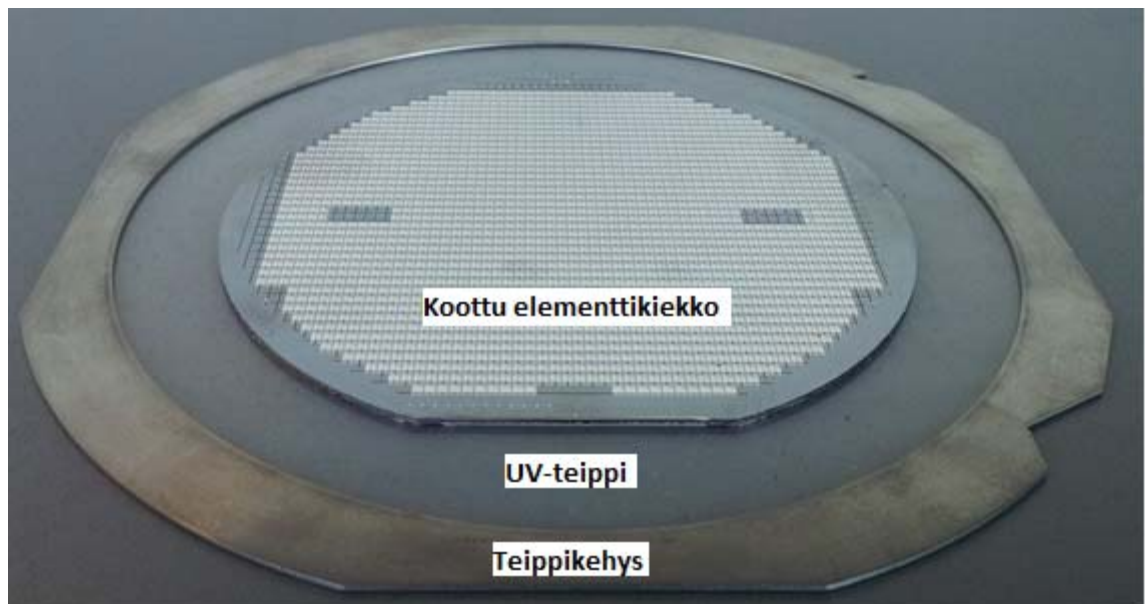
Kuva 5. Kiihtyvyyssanturin elementti ilman kansikiekkoa [5, s. 9].

Rakenne- ja kansikiekkoja käsitellään tuotannossa erillisinä tuotteina omine tuotantoprosesseineen, kunnes ne yhdistetään yhtenäiseksi elementtikiekoksi. Elementtikiekko

testataan, minkä jälkeen se siirtyy sahaukseen. Tuotanto on jaettu erillisiin soluihin, joita kuvaa solussa tehtävä tuotantovaihe. Jokaisessa solussa on useita sisäisiä prosesseja ja laitteita. Sahaus, höyrystys ja karsintamittaus ovat tuotantosoluja ja sijoittuvat tuotannossa kohtaan, jossa rakenne- ja kansikiekot on yhdistetty elementtikiekoksi.

### 1.3 Piikiekkojen sahaus

Sahaukseen tullessaan piikiekolla on lähes valmiita elementtejä. Yhdellä piikiekolla on satoja tai jopa tuhansia elementtejä tuotteesta riippuen. Sahauksessa leikataan piikiekolta yksittäiset elementit.



Kuva 6. Sahattu koottu elementtikiekkko kiinnitettynä UV-teippiin teippikehyksellä.

Sahausprosessi alkaa teippikoneesta, jossa koottu elementtikiekkko kiinnitetään ultraviolettiteippiin (UV-teippi), joka kiinnitetään sahauskehukseen (kuva 6). Tämän jälkeen sahauskehys laitetaan sahaan, jossa pyörivä terä leikkaa ristikon elementtien reunoja myöten. Saha leikkaa pelkän elementtikiekon, ja jättää UV-teipin ehjäksi. Teipin tarkoituksena on pitää yksittäiset elementit paikallaan.

Sahauksen jälkeen sahauskehys elementteineen laitetaan pesuriin, jossa sahauslastut pestään elementtien välistä pois. Tämän jälkeen teippi on valmis valotettavaksi UV-

valottimessa. UV-valotus vähentää UV-teipin adheesiota murto-osaan, ja elementit lähtevät helpommin irti teipistä ja siitä jää vähemmän liimajäämiä elementin pintaan.

Kun teippi on valotettu, elementit ovat valmiita nostettavaksi höyrystysalustalle, jolla elementeille höyrystetään höyrystimessä metallikontaktit. Anturielementti yhdistetään myöhemmin mikropiiriin näistä kontakteista. Elementit nostetaan teipiltä täysautomaattisoidulla nyppijällä, ja UV-valotusprosessin tasaisuus on ehdottoman tärkeää laitteen toiminnalle.

Höyrystyksen jälkeen osa tuotteista nostetaan takaisin UV-teipille. Niille tehdään automaattinen visuaalinen tarkastus (AVI) karsintamittaus solussa. AVI:lla on erikoisvaatimuksena kiekkokartan pysyminen samanlaisena alusta loppuun eli teipissä ei saa tapahtua muutoksia. Toisin sanoen teippi ei saa venyä, kutistua tai liukua teippikehyksellä. Muuten AVI hylkää turhaan hyviä elementtejä. Loput tuotteista nostetaan erilaiselle teipille, jolla on paljon matalampi adheesio. Näille tuotteille tehdään karsintamittaus sähköisesti.

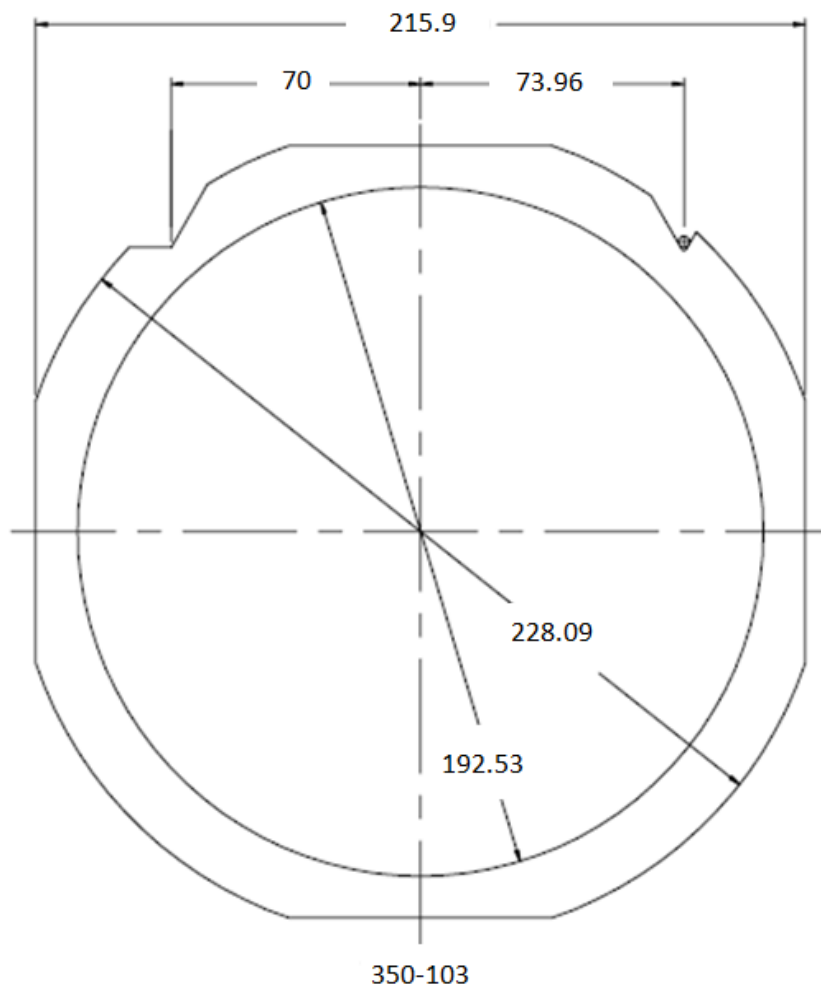
UV-teipit on kehitetty kohteisiin, joissa tarvitaan erityisen lujaa kiinnittymistä. Tällainen tilanne voi syntyä, kun valmistettavalla tuotteella on korkea painopiste tai pieni kontaktialue teippiin.

Teippi asettaa erilaisia haasteita lujan kiinnittymisensä vuoksi. Yksi näistä haasteista on teippikehyksien puhdistaminen liimasta käytön jälkeen. Tässä työssä perehdytään teippiin liittyviin ongelmiin ja tekniikoihin poistaa liima teippikehyksistä. Työn tavoitteena oli esittää ratkaisuehdotus, jolla vähentää teippikehyksien puhdistamiseen kuluvia resursseja ja vapauttaa operaattorit edistämään tuotteita sekä parantaa puhdistuksen laatua. Teippikehyksien puhdistuksen laadun parantaminen parantaa AVI- saantoja ja työvoiman vapauttaminen parantaa tuotteiden läpimenoaikaa ja estää laitteita seisomasta tyhjänä.

## 2 Teippikehyksien liimanpoistoprojektin lähtökohdat

### 2.1 UV-teipit ja teippikehykset

Teippikehysiä (kuva 7) käytetään anturivalmistuksessa useita eri tyyppisiä (taulukko 1). Sahauskehysissä käytetään vahvoja UV-510, UV-638 ja UV-850 T -teippejä, joissa kootut elementtikiekot sahataan ja pestään. Karsintamittauksessa, jossa irtoelementteihin ei kohdistu vaakavoimia, käytetään heikompaa Bluetapea, kun taas AVI-kehysellä käytetään liukumaton UV-510 ja UV-638 teippiä (taulukko 2). ASIC:t sahataan Bluetapella pienien sahausvoimien ja matalan painopisteen johdosta.



Kuva 7. 6" kiekolle K&S teippikehys 350-103.

6" sahauskehys on volyymiltaan eniten käytetty teippikehys. Kehyksen tyyppi juontaa juurensa jo tuotannosta poistuneista vanhoista manuaalisahoista. K&S on entinen sa-

havalmistaja, jonka toiminnot kuuluvat nykyään Advanced Dicing Technologies -yhtiölle, joka käyttää omaa hyvin samankaltaista teippikehystä hieman eri mitoilla.

Tehtaan tuotanto on suunniteltu K&S-kehysten ympärille, ja sen mittojen vaihtaminen vaatii suuria laitepäivityksiä. 6" K&S-kehysten myynti on maailmalla lähestulkoon loppunut, eikä niitä saa kuin mittatilaustyönä.

Taulukko 1. Teippikehysten tyypit ja ominaisuudet

<b>Teippikehukset</b>					
<b>Tyyppi</b>	<b>Kiekkokoko</b>	<b>Ruostumaton</b>	<b>Magneettinen</b>	<b>Lasikuulapuhallettu</b>	<b>Elektrolyyttikiillotus</b>
Sahauskehys	6"	x	x		x
AVI-kehys	6"	x	x	x	
Probauskehys	6"	x			x
ASIC-kehys	8"	x	x		x

Sahauskehys on valmistettu käyttäen karkaistua ferromagneettista ruostumatonta terästä, joka on kiillotettu elektrolyyttikiillotuksella. AVI-kehys on muuten sama paitsi pinta on lasikuulapuhallettu estämään UV-teipin liukumista. (Taulukko 1.)

Taulukko 2. Käytettävät teipit eri teippikehystyypeillä

<b>Teipit</b>				
<b>Tyyppi</b>	<b>UV-510</b>	<b>UV-638</b>	<b>UV-850 T</b>	<b>Bluetape</b>
Sahauskehys	x	x	x	
AVI-kehys	x	x		
Probauskehys				x
ASIC-kehys				x

UV-510, UV-638 ja UV-850 T eroavat liiman adheesion vahvuudeltaan sekä teipin paksuudeltaan. UV-850 T -teippi purkaa staattisen sähkövarauksen muita teippejä paremmin. Eri teippejä käytetään eri tuotteille riippuen tuotteiden kiinnityspinta-alasta, korkeudesta ja massasta sekä joidenkin tuotteiden staattisen sähkövarauksen purkauherkkyydestä (ESD). (Taulukko 2.)

## 2.2 Ongelmakohtien määrittäminen

Sahauksen tuotantosolussa yhtenä prosessina on manuaalinen pesuvaihe (kuva 8), jossa irrotetaan UV-teipin jättämä liima teippikehyksestä. Liimanpoistoprojektin tavoitteena oli vapauttaa operaattorit tästä työvaiheesta esim. automatisoimalla pesuprosessi.



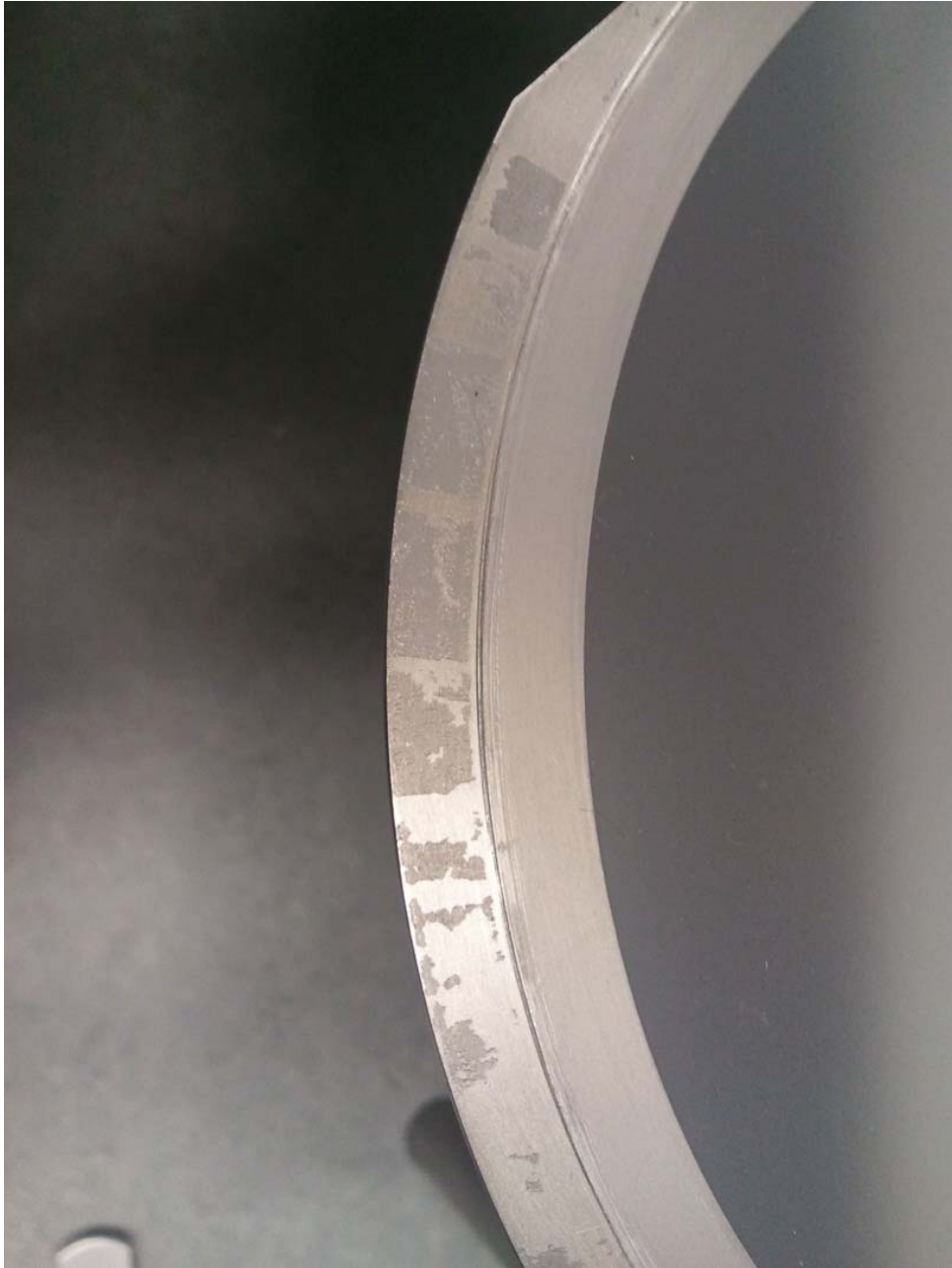
Kuva 8. Teippikehyksen manuaalinen peseminen.

Projekti aloitettiin identifioimalla alueet, joihin tarvittiin parannusta, kiertelemällä puhdistiloissa kunkin työvaiheen kohdalla ja seuraamalla operaattorin toimintaa. Samalla epäkohtia valokuvattiin ja kirjattiin muistiin. Operaattoreita myös haastateltiin kunkin työvaiheen jälkeen sen selvittämiseksi, mitä mieltä he ovat työvaiheesta ja mitä parannettavaa siinä olisi.

### 2.2.1 Liimajäämät teippikehyksissä

Teipatessa sahaus- ja AVI-kehyskiä UV-teipillä kehykseen jää runsaasti liimaa (kuva 9). Liima on todella tarttuvaa ja sitä jää operaattoreiden puhdistilakäsineisiin, kun he käsittelevät kehystä. Uhkatekijänä on, että operaattorin käsine jää liimaan kiinni esim. laitettaessa kehystä kasettiin. Tällöin kehys voi päästä putoamaan, ja sillä oleva elementtikiekkoo on hylättävä. Liima myös leviää operaattoreiden käsineistä muualle puhdistiloihin.

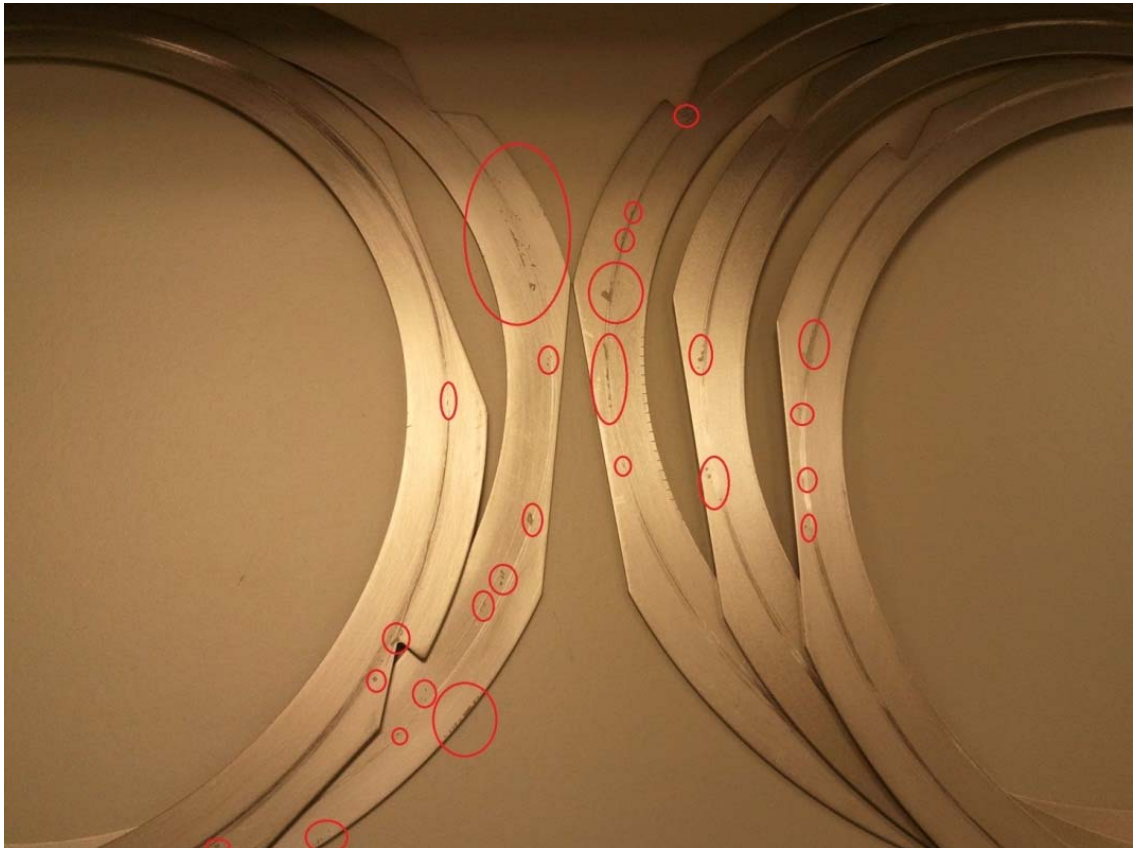




Kuva 9. UV-teipin liimaa sahauskehyksessä.

Tutkittaessa likaisia kehyksiä huomattiin, että liimajäämät kehyksen sisäkehällä olivat hyvin harvinaisia. Tämä selittyy UV-teipin ominaisuuksilla ja käytössä olevalla prosessilla. Kun kiekko on sahattu ja pesty, teippi valotetaan ja nypinnän jälkeen teippi poistetaan kehyksestä vetämällä. UV-valotuksen johdosta liiman adheesio laskee murtoosaan eikä sitä jää kehykselle. Tämä on olennainen ominaisuus UV-teipillä, sillä muutoin tuotteiden nypintä olisi erittäin vaikea toteuttaa, ja elementteihin jäisi liimaa. Tämän ominaisuuden hyödyntäminen on kuitenkin ylenkatsottu. Satunnaisia kehyksiä, joihin oli

jäänyt liimaa sisäkehälle, ei ollut valotettu ollenkaan, joko virheen tai epäonnistuneen teippauksen johdosta.



Kuva 10. Liimajäämiä ympyröity pestyissä teippikehyksissä.

Liimajäämät kehyksillä aiheuttavat teipin liukumista ja johtavat prosessiongelmien. Kuvassa 10 on ympyröity liimajäämiä pestyistä kehyksistä, joita valittiin satunnaisesti pinnosta viisi kappaletta. Uuden teipin alle jäädessään pienikin määrä liimaa aiheuttaa ison alueen, josta teippi ei kiinnity ollenkaan kehykseen kuten kuvasta 11 voidaan nähdä. Manuaalisesta puhdistuksesta huolimatta kehyksiin jää usein liimajäämiä, sillä liimaa on erittäin vaikea havaita sen ollessa märkää.



Kuva 11. Teipin alle jäänyt vanha liima aiheuttaa kuplan, josta teippi ei kiinnity teippikehykseen.

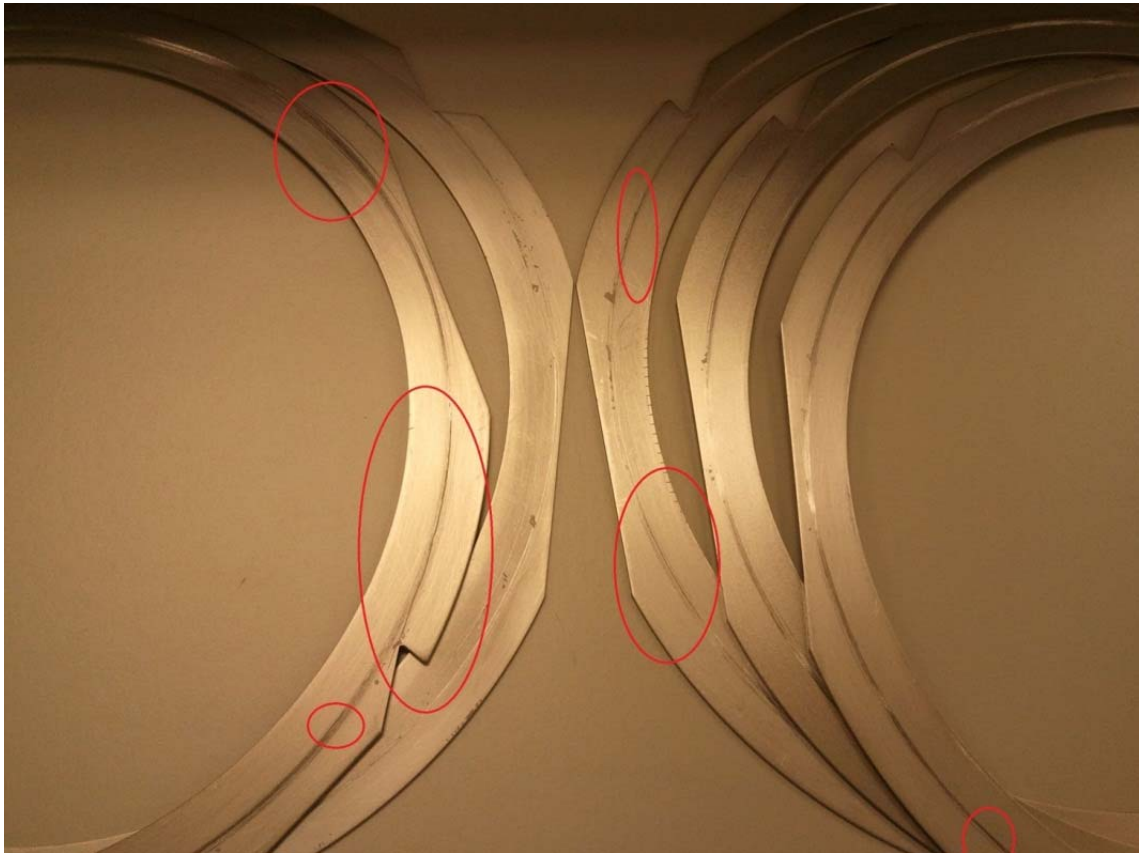
### 2.2.2 Teippisoirot

Teippisoiroja syntyy kehykselle, kun teippikoneen terä ei noudata samaa rataa terän pyöriessä yli kierroksen. Kun terä leikkaa vanhan leikkuujäljen vierestä, väliin syntyy teippisoiro. Teippisoirot voivat jäädä teipin ja sahan alustan väliin ja näin aiheuttaa terärikkouksia ja saantomenetyksiä. Kuvassa 12 näkyy teippisoiroja ympyröitynä samoista aiemmin satunnaisesti valituista pestyistä viidestä teippikehyksestä.

Teippisoirojen synnylle on useita mekanismeja. Teippikoneessa on väljät laakeroinnit terälle, jolloin se ei noudata samaa rataa pyörittäessään terää yli yhden kierroksen. Terät ovat tylsiä, jotteivät ne vahingoittaisi kehyksen pintaa ja siten synnyttäisi metallipartikkeleita. Nämä yhdessä takaavat, että operaattorin on pyörittävä terää useita kierroksia saadakseen teipin varmasti leikkaantumaan joka paikasta. Tällöin syntyy paljon soiroja.

Kolmas mekanismi on teippikoneessa, teipin venyttämisestä johtuvat jännitykset jotka liikuttavat kehystä teippiä leikatessa. Teippi vedetään ensin kehyksen yli kiinnittäen se laitteen kumpaankin päähän. Sitten se lanataan kehykseen ja kiekkoon kiinni, minkä jälkeen teippi leikataan kehyksen keskilinjaa pitkin. Teippikoneen rakenteesta johtuen leikkaaminen aloitetaan yleensä pisteestä, joka on lähimpänä teipin kiinnityskohtaa

laitteeseen. Näin teipin jännitys poistetaan toisesta päästä ja teippi vetää kehystä toiseen suuntaan. Leikkuri ei siten palaa samaan paikkaan kierroksen lopussa.



Kuva 12. Teippisoiroja ympyröitynä pestyissä teippikehyksissä.

Teippisoirojen vuoksi operaattorit on ohjeistettu tekemään ylimääräinen visuaalinen tarkistus teippisoirojen varalta ja poistamaan vaarallisimmat soivot. Tähän kuuluu turhaan operaattoreiden aikaa. Teippisoivot ovat myös hankalia poistaa terän vahingoittamalta kehysten pinnalta, jolloin niitä löytyy myös pestyistä kehyksistä.

### 2.2.3 Kehyksien pesu

Kehykset on tarkoitus pestä ylimääräisellä ajalla, jota operaattoreilla ei nykyään ole tuotantomäärien noustua. Pesemiseen käytetty aika on useasti poissa operaattoreiden varsinaisista töistä. Tällöin kehykset helposti kasaantuvat suuriksi pinoiksi kuten näkyy kuvasta 13. Kehykset palautuvat muista soluista sahaukseen ilman teippejä. Teipit irrotetaan siellä, missä elementit on otettu teipiltä pois. Teipin poisto voi olla joskus vaikeaa, ja se on raskasta sormille. Yksittäisen teipin poistoa melko helposti, mutta kun pois-

tettavana on suuri määrä, sormet voivat kipeytyä. Tällöin operaattoreilla on tapana leikata teipin keskusta pois kehyksen sisäpintaa vasten, jolloin kehykseen jää teippikaistale. Tätä teippikaistaletta on kuitenkin erittäin vaikea poistaa, sillä se ei lähde yhtenä palasena vaan useasti hyvin pieninä palasina.



Kuva 13. Teippikehyksiä odottamassa pesua pesupaikalla.

Joskus teippejä ei valoteta virheen vuoksi, jolloin niitä on vaikea poistaa ja niistä jää reilusti liimaa. Operaattoreita ei ole ohjeistettu tällöin valottamaan teippiä. Kun teipin poisto tehdään useassa eri paikassa taloa, kehyksen kuljettaminen erikseen valottimelle on turhan vaativa ratkaisu. Jokaisessa kohteessa, jossa teippiä irrotetaan kehyksestä, levitetään liimaa turhaan ympäristöön operaattorin käsineiden välityksellä. Lisäksi jokaisessa kohteessa täytyy olla työpiste, jossa teippi irrotetaan ja roskakori, johon laittaa teippi, jossa on jäljellä olevat elementit (kuva 14).



Kuva 14. Käytettyjä teippikehyksiä ja irrotetut teipit roskakorissa.

Kun kehyksestä on poistettu suurimmat teipinpalaset pinseteillä, ne laitetaan astianpesukoneeseen ja pestään 90 °C:n lämpötilassa normaalilla astianpesuaineella. Astianpesukoneesta kehykset siirretään lavuaariin likoamaan, ja sieltä kehyksiä otetaan yksitellen manuaaliseen pesuun. Kehyksestä poistetaan ensin jäljellä olevat teipinpalaset skalpellilla, minkä jälkeen loppu liima hinkataan pois Scotch Brightilla (kuva 8). Liima ja teippisoirot näkyvät heikosti kastuessaan, jolloin niitä on vaikeaa pestä.



Kuva 15. Teippikehukset kolhiintuneella ja ruostuneella kuivatusorrella.

Pesty kehys huuhdellaan vedellä ja nostetaan kuivatusorrelle (kuva 15) kuivumaan. Kuivatusorrella kehukset nojaavat toisiinsa ja niiden väliin jää vettä. Kehukset ovat orrella noin tunnin, minkä jälkeen ne pyyhitään vielä puhdistilaliinalla ja pinotaan uudelleen käytettäväksi. Kuivaamisesta huolimatta kehüksien väliin tahtoo jäädä vettä, jolloin kehüksissä esiintyy joskus ruostetta. Kuivatusorresta on myös lähtenyt maalipinnoite pois, ja itse orsi on ruosteessa.

Pestäessä sahauskehyskiä Scotch Brightillä niiden elektrolyyttikiillotettu pinta vahingoittuu ja siitä tulee karhea. Karheaan pintaan liima tarttuu paremmin, jolloin sitä jää kehükselle enemmän kuin kiillotetulle kehükselle. Kun kehys on ollut tarpeeksi pitkään käytössä, siitä tulee hyvin saman näköinen kuin lasikuulapuhalletusta AVI-kehüksestä, jolloin kehukset menevät helposti sekaisin. Naarmuuntuneen sahauskehüksen ja karhennetun AVI-kehüksen pinnat ovat kuitenkin hyvin erilaiset eikä teipin liukumattomuutta voida taata naarmuuntuneella sahauskehüksellä. Sahauskehyskiä käytetään kuitenkin tuotannossa erheellisesti AVI-kehüksinä.



Kuva 16. Teippikehyksien pesupaikka puhdistilassa.

Teippikehyksien pesupaikka (kuva 16) sijaitsee puhdistiloissa, vaikka pesu on erittäin likaista. Vaikka työ tehdään huolellisesti, kura leviää pesupaikan ympäristöön. Varoittavana esimerkkinä toimii pesupaikan takana oleva seinä ja pöydän alla oleva lattia, jotka ovat mustuneita eivätkä lähde puhtaaksi kovemmallakaan pesulla.

#### 2.2.4 Teippaus

Tutkittaessa liiman poistamista ja siihen liittyviä ongelmia huomattiin, että monet ongelmat juontuivat kehyksien teippauksesta. Teippausvaihetta päätettiin tutkia tarkemmin, jotta ymmärrettäisiin kokonaiskuva paremmin. Ensimmäinen asia, jonka huomaa tutustuessaan teippausvaiheeseen, on teippauskoneiden yleinen kunto ja ikä. Koneet ovat vanhentuneita ja täynnä erilaisia virityksiä.

Teippaus aloitetaan asettamalla kiekko ja teippikehys teippauskoneeseen. Teippi venytetään kehyksen yli ja kiinnitetään siihen lanaamalla. Teipin suojamuovin irrottaminen automaattisesti ei toimi, sillä laite ei kerää sitä esimerkiksi rullalle. Suojamuovi joudutaan vetämään käsin laitteen takapuolelta lattialle. Teipin irrottamistapahtumassa syn-



tyviä varautumiseroja ei myöskään tasata esimerkiksi ionisoimalla. Tästä koituu ESD-riski. Kun teippi on lanattu kiekkoon, kannessa olevalla leikkurilla leikataan teippi kehyksen keskiviivaa pitkin, kuten aiemmin todettiin.

Kun teippi on leikattu, ylimääräinen teippi irrotetaan teippikehyksestä. Tämä tapahtuu pitämällä teippikehyksestä yhdellä kädellä kiinni. Toisella kädellä revitään voimakkaasti ylimääräisestä teipistä. Teippi irtoaa vaivoin kehyksestä, ja teipistä jää reilusti liimajäämiä. Jos kehyksestä ei pidetä tarpeeksi lujasti kiinni, se pääsee helposti nousemaan irti alustasta ja iskeytymään takaisin siihen, jolloin teipillä oleva kiekko saa iskun, ja elementit voivat vioittua.

### 2.3 Ratkaisun etsintä

Projektin seuraavassa vaiheessa laadittiin lista parannuskohteista (taulukko 3) ja muodostettiin niistä osakokonaisuuksia, joihin etsittiin ratkaisuja. Tässä vaiheessa projektia huomattiin, että suuri osa parannuskohteista voidaan ratkaista parantamalla teippikohteita, jotka ovat muutenkin kipeästi uusimisen tarpeessa.

Taulukko 3. Liimanpoistoprojektin parannuskohteet

	<b>Parannuskohteet</b>
1	Liimajäämät teippikehyksissä
2	Teippisoivot teippikehyksissä
3	Kehyksien ruostuminen
4	Kehyksien naarmuuntuminen
5	Sekaisin olevat kehykset
6	Vaikeus erottaa kehykset toisistaan
7	Liimajäämät operaattoreiden käsineissä
8	Hajautettu toiminta, ylimääräisiä työpisteitä
9	Väärät toimintatavat
10	Puutteellinen koulutus
11	Pesun suorittaminen puhdastilassa
12	Suuri tilanterve puhdastilassa
13	Käytettyjen kehyksien tuotantoon palautumisnopeus
14	Liimajäämien poistamisen vaikeus
15	Liimajäämien heikko näkyvyys märkänä
16	Teipinpalaset kehyksellä
17	Puhdistusmenetelmä

Työ aloitettiin markkinatutkimuksella selvittämällä, onko jollain muulla yhtiöllä valmista kaupallista ratkaisua liimajäämäongelmaan. Markkinoilta ei löytynyt valmiita laitteita tai sovelluksia, joilla voisi puhdistaa UV-teipin liiman kehyksistä eikä teippikoneita joilla voitaisiin ratkaista koetut ongelmat. Ratkaisuehdotuksia aloitettiin työstämään tuotekehitysprojektin menetelmiä käyttäen.

### **3 Parannuskohteet**

Projektin päätavoitteiden saavuttamiseksi projektissa aloitettiin työstää tässä vaiheessa kolmea tutkimushaaraa rinnan. Yhtenä haarana oli teippikehyksien kehittäminen, toisena pesun kehittäminen ja kolmantena teippikoneiden kehittäminen. Muut projektissa löydetyt parannuskohteet eivät vaatineet vastaavaa syvällistä työstämistä, vaan niihin löytyi helposti implementoitavat loogiset ratkaisut.

#### **3.1 Teippikehyksien kehittäminen**

Teippikehyksiin aloitettiin ideoimaan parannuksia, jolla voitaisiin estää liiman kiinnittyminen niihin tai tehdä kehyksistä kertakäyttöisiä, jolloin niitä ei tarvitsisi pestä. Teippikehyksien muutokset vaikuttavat kuitenkin laajalle alueelle ja kymmeneen laitteisiin. Teippikehyksien muutoksista koituisi suuri validointiprosessi.

Kertakäyttöisiä muovista valmistettuja kehyksiä tutkittiin ja näytekappaleita pyrittiin hankkimaan. Muovisissa kehyksissä ilmeni kuitenkin heti ongelmia, sillä oikeilla K&S 350-103 -mitoilla ei tahtonut löytyä tarjontaa. Kyseinen malli on käynyt maailmalla harvinaiseksi. Kolmelta yritykseltä pyydettiin näytteitä kehyksistä, joiden mitat olivat hyvin lähellä oikeita. Yksi yritys vastasi tarjouksella ja lähetti mallikappaleen. Nykyisten kehyksien hankintahinta on niin korkea, ettei niitä voida käyttää kertakäyttöisinä.

Muovinen kehys asettaa omat haasteensa. Toisiin tuotantolaitteisiin teippikehykset kiinnittyvät magneeteilla, joten näihin laitteisiin jouduttaisiin tekemään investointeja, jotta muoviset kehykset voitaisiin ottaa käyttöön. Lisäksi muovi materiaalina on niin taipuisaa, että kehykset ovat noin kaksi kertaa metallikehystä paksumpia. Paksuus on rajoittava tekijä tuotantolaitteissa, ja muovikehyksen paksuus osoittautui liian isoksi. Paksuudesta huolimatta muovikehykset ovat liian taipuisia. Jo pelkkä teippi kehyk-

sellä vetää kehyksen kieroksi. Kierous on myös rajoittava tekijä tuotantolaitteissa. Muoviset teippikehykset päätettiin hylätä toimimattomana ratkaisuna.

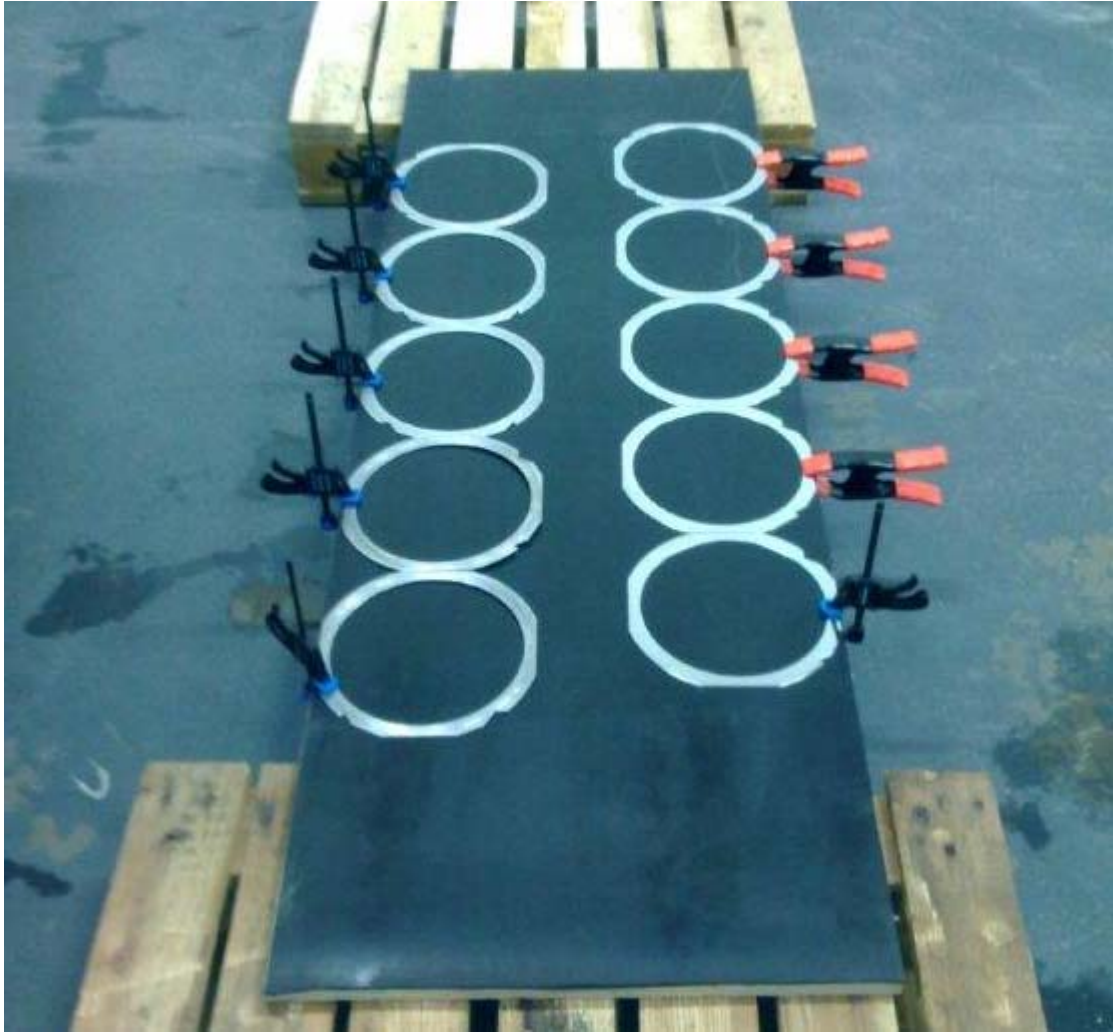
Muita hylättyjä ideoita olivat erilaiset pinnoitteet teippikehyksellä, jotka estäisivät teipin tarttumisen, kehyksen ohentaminen ulkoreunasta mikä estäisi teippikonetta lanaamasta teippiä siihen kiinni, komposiittikehys ja pinnan hienempi kiillotus.

### 3.2 Pesun kehittäminen

Projektissa tutkittiin erilaisia tapoja pestä kehykset tehokkaammin. Liima osoittautui uskomattoman sitkeäksi. Liuottimia, lämpösyklejä, kaupallisia liiman irrottimia ja ultraäänipesuria tutkittiin, mutta ne osoittautuivat joko tehottomiksi tai liian kuormittavaksi ympäristölle tai vaarallisiksi käyttää.

Lupaavimmat vaihtoehdot olivat soodapuhallus, kuivajääpuhallus ja automaattinen harjapesuri. Soodapuhallus osoittautui käyttökustannuksiltaan kohtuulliseksi mutta hylättiin, koska se osoittautui aivan liian sotkuseksi. Sooda leviää ympäristöön erittäin helposti, sillä se on hyvin hienojakeista. Jopa alan ammattilainen, joka myy soodapuhalluspalveluja ja soodapuhalluslaitteita, suositteli vaihtoehtoisen menetelmän käyttöä, koska soodaa ei voida pitää järkevästi kurissa.

Kuivajääpuhallusta kokeiltiin useampaan otteeseen mm. Oy Covex Ab:n toimesta lupaavin tuloksin. Parhaimmat tulokset kuivajääpuhalluksella saatiin omista kokeista valottamalla ensin kehykselle jäänyt UV-liima, jolloin se hieman kovettuu, ja asettamalla kehys lämpimään ympäristöön. Kehyksellä on niin pieni lämpömassa, että se jäähtyi muuten liian nopeasti. Kokeissa ei havaittu, että kehyksen elektrolyyttikiillotettu pinta olisi vahingoittunut kuivajääpuhalluksesta.



Kuva 17. Teippikehyksien kuivajääpuhalluskoe Covex Oy:n toimesta.

Testeissä käytetty Cold Jet i3 Micro Clean -laite osoittautui liiman irrotuksessa liian pienitehoiseksi 0.6 kg/min kuivajään kulutuksella, ja yhden kehyksen puhdistamiseen kului aikaa pari minuuttia (kuva 18). Puhdistuksen pitää tapahtua paljon nopeammassa ajassa, sillä kehys jäähtyy eikä siinä ole enää tarvittavaa lämpöä kuivajään sublimoitumiseen, ja puhdistusteho katoaa. Ice Technin valmistamalla Ice Blast KG12:lla pystyttiin puhdistamaan kehys alle minuutissa, mutta kuivajään kulutus oli jo hullepeat 1.5 kg/min. Ice Blast laitetta testatessa kehykset asetettiin kuvan 17 mukaisesti alustalle.



Kuva 18. Kuivajääpuhallus Cold Jet i3 Micro Clean -laitteella.

Kuivajääpuhalluksen käyttökustannukset ovat korkeat, sillä liima osoittautui niin sitkeäksi, että tarpeeseen vaaditaan raskaamman sarjan laitteita, joissa on korkeampi kuivajään kulutus. Kuivajääpuhallukselle ei myöskään löytynyt soveltuvaa paikkaa toimitiloista. Keskustelut aloitettiin PartnerTech Oy:n kanssa puhdistuksen sijoittamisesta heidän tiloihinsa. Keskustelut kuitenkin lopetettiin teippikoneen kehityksen hyvien tuloksien johdosta.

Manuaalisella harjapesulla kokeiltiin menetelmiä, joilla liima on tehokkainta irrottaa. Kuivajääpuhdistuksen tapaan liimajäämän valottaminen kovaksi oli paras ratkaisu. Tämän jälkeen liima on helpompaa irrottaa mekaanisesti. Markkinoilla olevien harjapesureiden käyttöä tutkittiin, mutta toimivaa ratkaisua ei löytynyt. Harjapesuri-ideaa ideoitiin tuotekehitysprojektin menetelmin, ja lopulliseksi ideaksi muodostui pitkälle integroitu ja automatisoitu laite. Laitteessa teipattu kehys haettaisiin kasetista, teippi valotettaisiin matkalla teipin irrottajaan, minkä jälkeen kehys pestäisiin harjarullalla veden kanssa. Kehys kuivatetaan paineilmalla matkalla toiseen makasiiniin.

Harjapesulaitteen hinnan arvioitiin olevan > 50 000 € ja laitesuunnittelun olevan monimutkaista ja sen toimivuudesta pitkällä aikavälillä tuotantokäytössä oli vaikeaa antaa näyttöä. Laitteen fyysinen koko olisi myös hankaloittanut sen sijoittamista puhdistiloihin. Harjapesulaitteen riskit arvioitiin hyötyä isommaksi ja sen suunnittelu lopetettiin.

### 3.3 Teippikoneiden kehittäminen

Teippikoneen kehitys painottui siihen, että estettäisiin liimajäämien syntyminen. Työ aloitettiin tutkimalla markkinoilta löytyviä teippikoneita, joita on tarjolla hyvin monenlaisia. Tässä voidaan lajitella teippikoneet kolmeen eri ryhmään, joista ensimmäiseen kuuluvat perinteiset manuaaliset teippikoneet, jotka käyttävät teippiä rullalta, toiseen automatisoidut teippikoneet, jotka käyttävät teippiä rullalta, ja kolmanteen automatisoidut koneet, jotka käyttävät valmiiksi leikattuja teippejä.

Valmiiksi leikattujen teippien käyttö poistaa liimajäämäongelman, sillä ylimääräistä teippiä ei tarvitse poistaa kehykseltä teippauksen yhteydessä. Tämä tutkimushaara jouduttiin kuitenkin hylkäämään, kun selvisi, että vahvempi liima ei sovellu näiden koneiden kanssa käytettäväksi, eikä prosessiin soveltuvaa UV-teippiä löydy markkinoilta valmiiksi leikattuna.

Markkinoilta ei löytynyt ainuttakaan teippikonetta, johon olisi integroitu UV-valotin. Kaikki rullalta teippiä käyttävät koneet perustuvat siihen, että teippi revitään irti teippi-kehuksesta valottamattomana. Tämä ei ole yleensä ongelma, sillä yleisesti käytetään paljon heikompia liimoja.

Teippikoneen kehittämisestä jouduttiin näin aloittamaan tuotekehitysprojekti, jonka tavoitteena oli rakentaa olemassa olevaan teippikoneeseen UV-valotin, jolla voidaan valottaa irtileikattava teipin osuus ilman, että se vaikuttaa seuraavaan prosessivaiheeseen menevään teippiin.

## 4 UV-valottaminen

Teippikoneen kehitysprojektin tavoitteena oli korjata alkuperäisessä projektissa löydetyt ongelmat. Kantava idea oli valottaa teipistä se osa, joka irrotetaan kehyksestä teippauksen aikana ja heitetään roskakoriin, ja näin hyödynnettäisiin UV-teipin luontaisia ominaisuuksia.

Projekti aloitettiin todistamalla UV-valotuksen toimivuus. Erikuntoisia sahaus- ja AVI-kehysä teipattiin kaksi kappaletta kullakin käytössä olevalla teipillä siten, että ylimääräistä teippiä ei irrotettu kehyksestä. Tuotannossa käytössä olevasta UV-valottimesta poistettiin sovittimia, jotta sillä voitiin valottaa kehyksen koko pinta-ala. Valotuksen jälkeen kehykseen ei tarttunut ollenkaan silmin nähtävää liimaa.

Teippikoneessa ei voida kuitenkaan valottaa koko teippiä, sillä elementit eivät pysyisi teipillä sahatessa eikä teippi pysyisi teippikehyksellä. Tätä varten piti tutustua erilaisiin valotusmenetelmiin, ja ensi katsomalta idea tuntui toteutuskelvottomalta, sillä mikään tunnettu prosessi ei kelvannut käytettäväksi teippikoneessa. Projektia jatkettiin tutustumalla tarkemmin käytössä oleviin UV-teippeihin.

### 4.1 UV-teippi

UV-teipin adheesio on normaalia teippiä paljon vahvempi. UV-teippiä käytetään sahausprosessissa, sillä elementtien täytyy pysyä tiukasti paikallaan sahatessa. UV-teipin tärkein ominaisuus on, että sen adheesio onnistuneen valotuksen jälkeen on alhaisempi kuin normaalin teipin.

UV-teipin liima koostuu akryyliimasta, jonka adheesio tapahtuu paineen johdosta, eikä esim. lämmöstä, sekä UV-säteilyllä kovettuvasta oligomeeristä, että fotokemiallisia reaktioita alullepaneavasta initiaattorista.

Absorbing UV light with a wavelength of approx. 300-400 nm, the initiator generates radicals through photochemical reactions to initiate chain reaction polymerization of oligomers. Irradiating UV light gives the adhesive polymer a crosslinking structure. [3.]

Elementtituotannossa on käytössä kolmea Adwillin valmistamaa UV-teippiä. Valotuksen kannalta voidaan sanoa, että teipeissä on eroja teipin ja liiman paksuudessa, lii-

man adheesiovahvuudessa ja teipin UV-läpäisykyvyssä, mutta näiden vaikutusta valotukseen ei tunneta kunnolla. Kun oli kokeiltu eri teippejä arveltiin, että teipin läpäisykykyä voidaan kuvata karkeasti teipin kirkkaudella. Kirkas teippi läpäisee enemmän UV-säteilyä kuin läpikuultamaton. Teippityypit ovat UV-510, UV-638 ja UV-850 T (taulukko 4).

Taulukko 4. Teippityypit

		UV-510	UV-638	UV-850 T
<b>Paksuus (um)</b>		170	150	170
<b>Liiman paksuus (um)</b>		30	10	30
<b>Väri</b>		Kirkas	Kirkas	Harmaa
<b>Adheesio (mN / 25 mm)</b>	<b>Ennen valotusta</b>	22500	9800	20600
	<b>Valotuksen jälkeen</b>	780	100	690

Teippivalmistajan antamat ohjeet kaikille kolmelle teippityypille ovat samanlaiset. Teippiä tulisi valottaa noin 365 nm:n aallonpituudella vähintään 120 mW/cm<sup>2</sup> teholla ja teipin saaman säteilyannostuksen tulisi olla vähintään 70 mJ/cm<sup>2</sup>. Annostus laskeaan kertomalla valotusteho ajalla. Valmistaja on saanut taulukossa ilmoitetut tulokset käyttäen vähintään 220 mW/cm<sup>2</sup> valotustehoa ja 160 mJ/cm<sup>2</sup> annostusta.

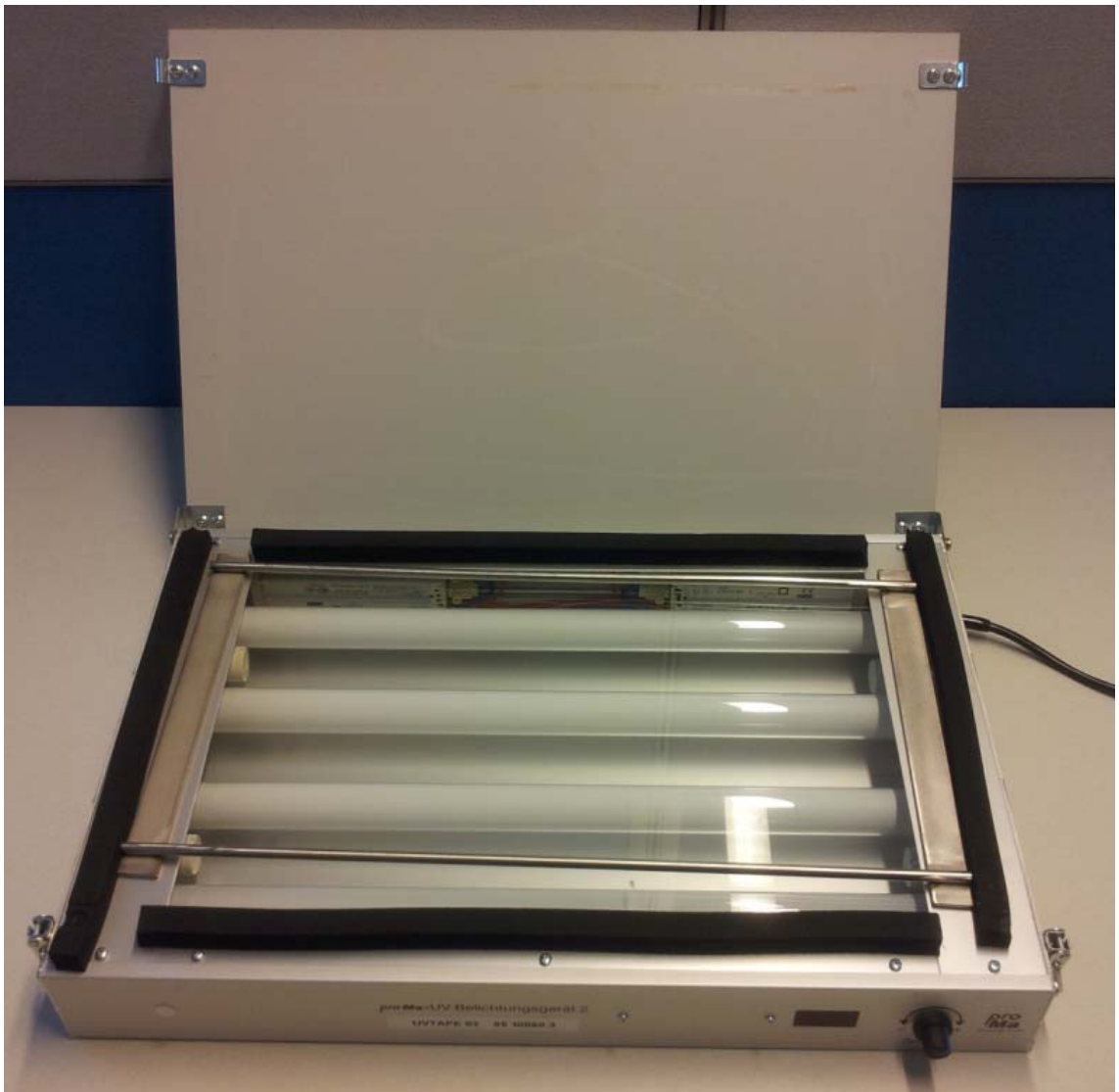
#### 4.2 Teippikoneen parantamisen tutkiminen

Teipin valotusprosessia ei tunneta yrityksessä erityisen hyvin. Teippivalmistaja antaa aallonpituuden, jolla teippi on valotettava ja vaadittava valotusteho. Laittevalmistajat tarjoavat valotuslaitteen, jossa tunnetaan aallonpituus ja valotusteho. Nämä on prosessia suunniteltaessa yhdistetty ja tulokset on hyväksytty. Prosessissa on alun perin käytetty Pro MA Technologie GmbH -valottimia, joita on hankittu lisää tuotantomäärien noustessa. Nämä laitteet on nimetty UVTAPE\_01 ,UVTAPE\_02 ja UVTAPE\_03.

UVTAPE\_01 - UVTAPE\_03 -prosessin valotusajat ovat olleet 15 minuutin luokkaa. Myöhemmän kokemuksen perusteella on osattu sanoa, että teipit eivät ole tällä ajanjaksolla valottuneet kunnolla. UVTAPE\_04 ostettiin korvaamaan aiemmat laitteet, ja sen valotusaika on alle minuutin ja siinä teippi valottuu täydellisesti.



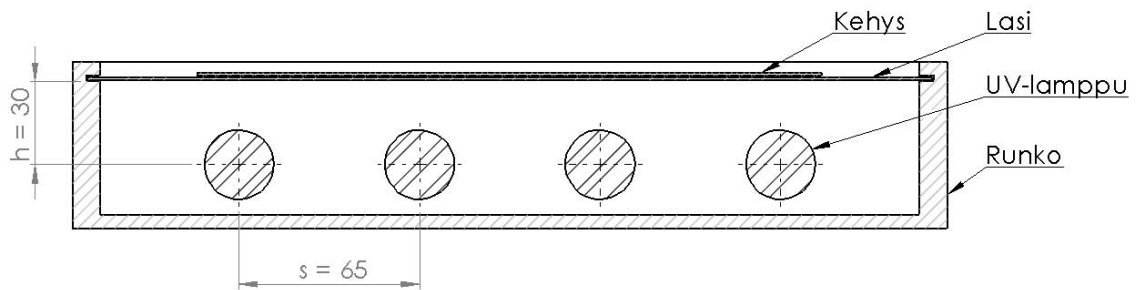
Teipin UV-valotukseen syvennyttiin tutustumalla teippivalmistajien ohjeisiin teipin valotuksesta ja tutustumalla laitevalmistajien valotuslaitteisiin. Markkinoilla olemassa olevat UV-teipin valotukseen tarkoitetut laitteet käyttävät joko matala- tai korkeapaine-UV-lamppuja. Käytöstä poistetut UVTAPE\_01 - UVTAPE\_03 kaivettiin varastosta ja tutkittiin niiden rakennetta. Näistä laitteista ei ole saatavilla materiaalia, ja niiden valmistus on lopetettu. Laitteista paljastui Philipsin valmistamat matalapaine-kaasupurkauslamput. Seuraavaksi tutkittiin käytössä olevaa UVTAPE\_04:ää käsiteltävää kirjallisuutta, josta selvisi, että se käyttää korkeapaine-kaasupurkauslamppua.



Kuva 19. Matalapaine-kaasupurkauslamppuja käyttävä käytöstä poistettu UV-teipin valotuslaite UVTAPE\_03.

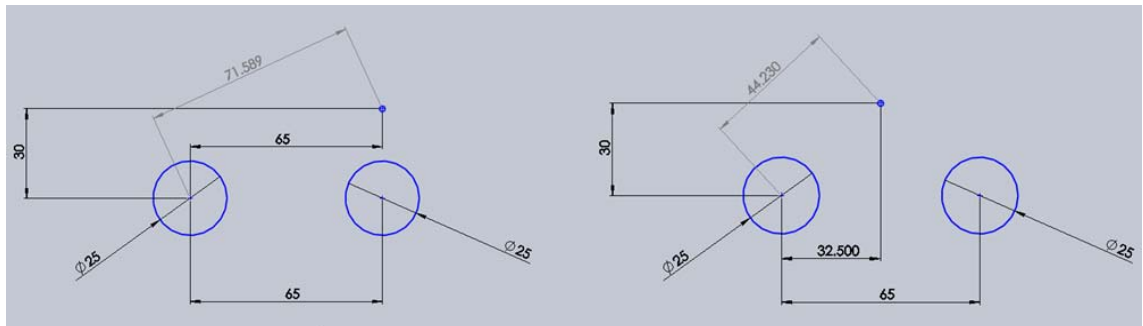
UVTAPE\_01 - UVTAPE\_03 (kuva 19) -laitteista haluttiin ymmärtää, miksi prosessi ei toiminut. Lamppujen merkintöjen puutteellisuuden vuoksi niitä ei voitu tunnistaa aukot-

tomasti, joten niiden tarkkaa aallonpituutta ei voitu selvittää. Lampun värin perusteella kuitenkin arvioitiin, että pinnoitus on joko  $\text{SrB}_4\text{O}_7:\text{Eu}$  tai  $\text{BaSi}_2\text{O}_5:\text{Pb}$ , jolloin spektri-kauman piikki osuisi vastaavasti 370 nm tai 350 nm kohtiin. Lamppujen merkinnöistä selvisi, että niille tulee syöttää maksimissaan 15 W:n teho. Laitteesta pystyttiin lisäksi mittaamaan tiettyjä mittoja (kuva 20) kuten lampun ja lasin välisen matkan ( $h$ ), lamppujen pituuden ( $L$ ) ja lamppujen etäisyys toisistaan ( $s$ ). Lisäksi laitteesta määriteltiin, että valotettavan kohteen ja lamppujen välissä on lasi, ja pohja ei heijasta UV-säteilyä. Normaali ikkunalasi päästää läpi 90 % säteilystä, joka on yli 350 nm, mutta estää yli 90 % säteilystä, joka on alle 300 nm [4].



Kuva 20. Poikkileikkaus UVTAPE\_03:sta.

Näillä ehdoilla voitiin laskea approksimaatio teipin saamasta UV-tehosta. Teho päätettiin laskea kahdesta pisteestä (kuva 21). Ensimmäinen piste on suoraan yhden lampun yläpuolelta ja toinen kahden lampun keskeltä. Laskuissa käytettiin teholle edullisia arvoja, ja laskettaessa tarkkaa tehoa nyt esitettyjä arvoja ja laskuja ei tulisi käyttää.



Kuva 21. a) Piste lampun päällä.

b) Piste lampun keskellä.

Suoraan lampun yläpuolella olevan pisteen saama säteilyteho neliösenttimetriä kohden (Pt1) on

$$Pt1 = \left( \frac{\eta * Pin}{2 * \pi * x1 * L} + \frac{\eta * Pin}{2 * \pi * h * L} \right) * \psi \quad (1)$$

jossa  $\eta$  on hyötysuhde,  $Pin$  on lampulle syötetty teho,  $x1$  on etäisyys toiseen lampuun ja  $\psi$  on lasin läpäisevä UV-säteily prosentteina.

Kahden lampun keskellä olevan pisteen saama säteilyteho neliösenttimetriä kohden (Pt2) on

$$Pt2 = \frac{\eta * Pin}{2 * \pi * x2 * L} * 2 * \psi \quad (2)$$

jossa  $x2$  on etäisyys lampuun ja kahdesta lampusta tulee samansuuruinen säteilyteho.

Tällöin saatiin Pt1:n ja Pt2:n teholliseksi arvoksi

$$Pt1 = \left( \frac{0,3 * 15W}{2 * \pi * 0,071589m * 0,4m} + \frac{0,3 * 15W}{2 * \pi * 0,03m * 0,4m} \right) * 0,9 = 7,873 \text{ mW/cm}^2$$

$$Pt2 = \left( \frac{0,3 * 15W}{2 * \pi * 0,044230m * 0,4m} \right) * 2 * 0,9 = 7,287 \text{ mW/cm}^2$$

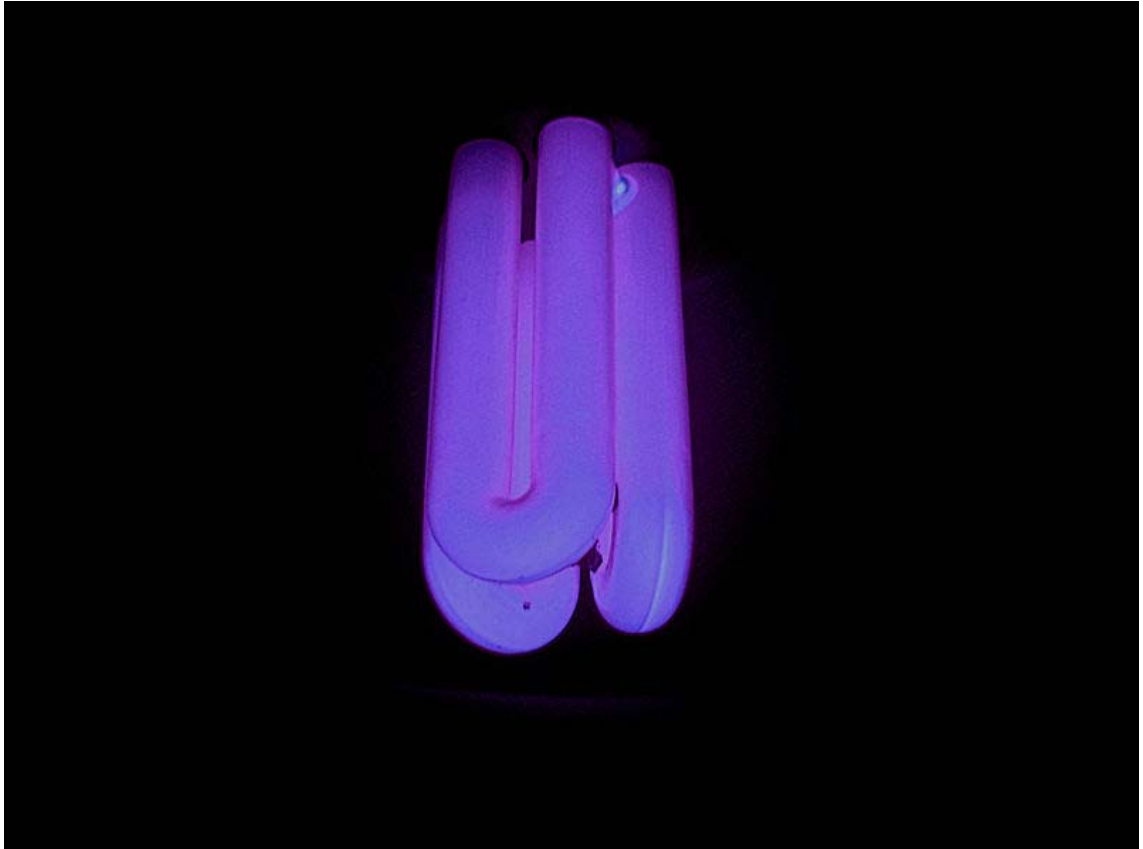
jotka ovat  $\ll 120 \text{ mW/cm}^2$ , joka on teippivalmistajan minivaatimus teipin valottamiselle. Vanhojen teippikoneiden säteilytehon todettiin olevan liian alhainen eikä ollut tarvetta laskea tehoa tämän tarkemmin. Teipin vaatiman tehorajan arveltiin johtuvan teipin paksuudesta ja sen kyvystä läpäistä säteilyä. UV-säteilyn on ensin läpäistävä teippi, ennen kuin se pääsee vaikuttamaan liimaan. Tästä johtuen alitehoisella valottimella ei voida valottaa teippiä millään ajanjaksolla.

### 4.3 UV-lamput

UV-valon lähteitä on olemassa markkinoilla monenlaisia. Yleisimmät ovat matala- ja korkeapainelamput. Matalapainelamput ovat fluoresoivia lamppuja, ja niiden sisäinen paine on alle 1 bar. Korkeapainelamput ovat useimmiten elohopeahöyrylamppuja, joiden sisäinen paine on 1 - 10 bar. Jotkut korkeapainelamput ovat metallihalidi lamppuja. Joissain sovelluksissa voidaan käyttää ksenonlamppuja [6, s. 454]. Uutena tekniikkana näiden rinnalle ovat nousseet yhä tehokkaammat UV-ledit.

#### 4.3.1 Matalapainelamput

Matalapainelamput ovat kaasupurkauslamppuja ja hyvin samankaltaisia kuin loisteputket (kuva 22). Lampussa elohopea kaasuuntuu sähköpurkauksien vaikutuksesta ja sähkökentän tai elektronien törmäilyn virittämät Hg-atomit palautuvat perustasolle, jolloin ne lähettävät UV-säteilyä kapeahkolla kaistalla 254 nm:n paikkeilla. Loisteputken sisäpinta voidaan pinnoittaa erilaisilla fluoresoivilla materiaaleilla, joilla voidaan säädellä lampun lähettämää valon aallonpituutta. Aallonpituuksia on valittavissa 250 - 600 nm:n väliltä. [7, s.112.]



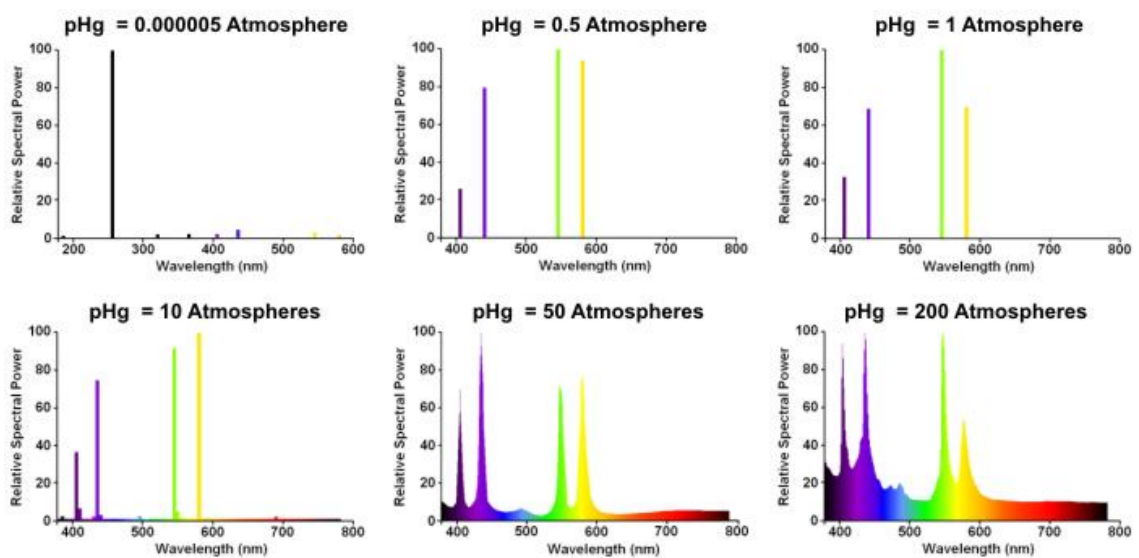
Kuva 22. Matalapaine-UV-lamppu [10].

Matalapainelamppuja käytetään usein teollisissa sovelluksissa, joissa vaaditaan vähäisempää UV-tehoa, maksimissaan 10 W/cm. Matalapainelampun 30 %:n hyötysuhde on parempi kuin korkeapainelampun ja lampun lämpötila on vain noin 40 °C. Lampun normaali käyttöikä on noin 5 000 tuntia ennen kuin teho heikkenee liikaa. Matalapainelamppujen käyttöjännite on yleisimmin verkkojännite. [6, s. 455.]

Matalapainelamput olivat suhteellisen houkuttelevia käytettäväksi teippikoneessa, sillä ne pystytään rakentamaan suhteellisen pieneen tilaan ja ilman suurta määrää käytettävää elektroniikkaa. Lamput eivät myöskään tuota paljoa lämpöä eikä niistä tule juurikaan ylimääräisiä prosessille mahdollisesti haitallisia aallonpituuksia. Niiden ongelma on kuitenkin tehottomuus, kuten todettiin UVTAPE\_01 - UVTAPE\_03 -laitteissa. Niillä on myös erittäin hankalaa valottaa tarkka alue vaikuttamatta muuhun alueeseen. Näistä syistä todettiin, etteivät matalapainelamput sovellu käytettäväksi teippikoneessa.

#### 4.3.2 Korkea- ja keskipainelamput

Korkea- ja keskipainelamput ovat niinkään kaasupurkauslamppuja (kuva 24). Ne perustuvat elohopeakaasun korkeassa lämpötilassa ja paineessa lähettämään sähkömagneettiseen säteilyyn, josta osa on ultraviolettisäteilyä. Näiden tuottama valospektri on paljon matalapainelamppua laajempi, jolloin ne tuottavat prosessille mahdollisesti haitallisia tai ei-haluttuja aallonpituuksia, esim. infrapunasäteilyä [9]. Mitä korkeampi paine lampussa on, sitä laajemman spektrin se antaa. Spektri jatkuu (kuva 23) pitkälle infrapunasäteilyn puolelle [8].



Kuva 23. Korkeapainelamputun spektrijakauma paineen funktiona [8].

Korkea- ja keskipainelamppujen hyötysuhteet ovat 15 - 25 %, ja niiden käyttölämpötila on 600 - 900 °C. Lamppujen sytytys- ja sammutusajat ovat pitkiä ja haitallisia lampulle, ja niitä pidetään usein päällä jatkuvasti pienellä teholla. Lampulle syötetään lisää tehoa, kun sille on tarvetta. Lamppujen teho on 30 - 120 W/cm, ja niiden käyttöikä rajoittuu noin 1 000 tuntiin. Polttimoiden teho laskee, kun kärjet kuluvat liikaa ja polttimon sisäpinta tummuu, jolloin osa säteilystä ei läpäise pintaa. [6, s. 455.]



Kuva 24. Korkeapaine-UV-lamppu [11].

Korkeapainelamppujen käyttöjännite on yleisesti  $<1$  kV mutta lampun muuntajassa esiintyy usein useiden kilovoltin jännitteitä. Lampulla pitää myös olla tarpeeksi tehokas jäähdytys mutta oikein mitoitettu, sillä liian tehokas jäähdytys voi estää lampun saavuttamasta tarvittavaa lämpötilaa. Lampun vaatimukset asettavat erityisiä haasteita laitevalmistajille turvallisen ja toimivan laitteen suunnittelussa. [6, s. 473.]

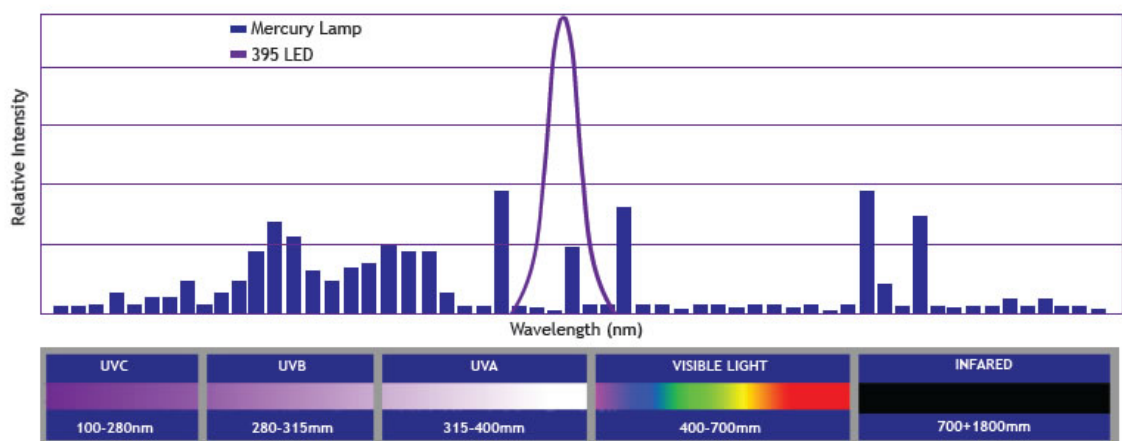
Ksenonlampujen käyttö rajoittuu kohteisiin, joissa tarvitaan erittäin tehokasta UV-valon lähdettä. Ksenonlampussa yli puolet saatavasta tehosta sijoittuu kuitenkin infrapuna-alueelle ja vain pieni osa saatavasta tehosta on UV-säteilyä. Ksenonlamppu tuottaa jatkuvan spektrin ultraviolettia infrapunasäteilyyn saakka. Erilaisilla fluoresoivilla pinnoitteilla voidaan hieman parantaa lampun hyötysuhdetta UV-käyttökohteissa. [6, s. 457.]

Korkea- ja keskipainelamppujen todettiin soveltuvan erityisen huonosti käytettäväksi teippikoneessa niiden tuottaman lämmön, prosessille haitallisen säteilyn ja niiden käyttämän elektronikan korkeajännitteisyyden vuoksi. Heikkouksiin luettiin myös lyhyt käyttöikä, kallis hankintahinta ja teipin koskemattomien alueiden säilyttämiseen liittyvät haasteet. Korkea- ja keskipainelamppujen todettiin olevan täysin soveltumattomia teippikoneeseen.

### 4.3.3 Ultravioletit

Mitkään yleisesti käytössä olevat UV-valolähteet eivät soveltuneet käytettäväksi teippi-koneessa. Tutkimusta laajennettiin ja löydettiin uusi korkeatehoinen lediteknikka, jota on käytetty lähinnä biologian, lääke- ja hammaslääketieteen sekä valaistus-, näyttö- ja tiedontallennusteknologiassa [7, s. xiii]. Harrastelijat ovat myös ottaneet teknologian omakseen rakentaessaan omatekosia piirilevyn valotuslaitteita. Markkinoilla olevat UV-ledit ovat yleisesti liian pienitehoisia teolliseen käyttöön.

Kirjallisuutta UV-ledeistä on hyvin vähän saatavilla, ja se on pääosin vanhentunutta. Tässä suhteessa täytyy luottaa yksittäisien valmistajien antamiin arvoihin ja lupauksiin. Valmistajia korkeatehoisille UV-ledeille löytyi kaksi kappaletta, Semileds ja Nichia. UV-ledit tuottavat hyvin kapean piikin ilmoitetulla aallonpituudella eikä muita huippuja ole. Kuvassa 25 verrataan korkeapainelampun ja ledin lähettämää spektrin jakaumaa. Kuvassa näkyy myös korkeapainelampun suuret piikit infrapunasäteilyn alueella.



Kuva 25. UV-ledin ja korkeapainelampun spektrin jakauma [12].

Tässä päätettiin keskittyä Nichian tuotteisiin, koska niitä on paremmin saatavilla erilaisissa kolmannen osapuolen valmistamissa ratkaisuissa, sekä irtonaisina suoraan valmistajalta. Nichian tekninen tuki osoittautui myös melko aktiiviseksi. Projektiin onnistuttiin saamaan kaksi kappaletta Nichian NCSU033APE Engineering sample -leditä tutkitavaksi.

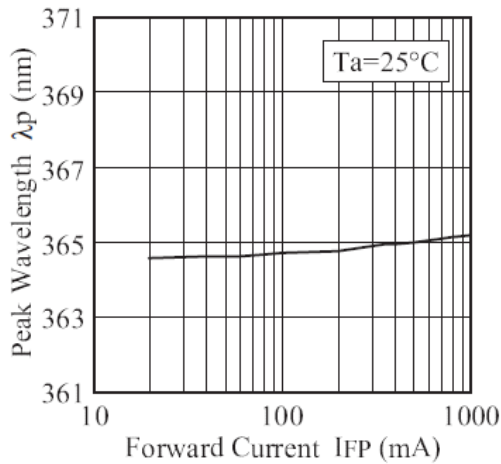




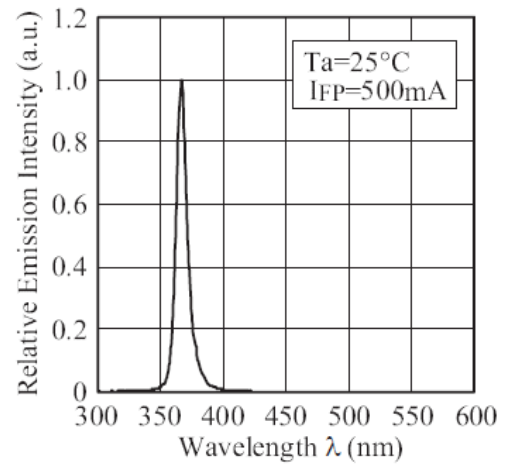
Kuva 26. Nichia NCSU033APE Engineering samples juotettuna alumiiniseen piirilevyyn ja kiinnitettynä alumiiniseen jäähdytysrivastoon.

Nichia UV-teholedejä myydään pintaliitoskomponentteina joko yksittäisinä tai kelalla. Kuvassa 26 näkyy kaksi kappaletta 365 nm:n teholedejä, jotka on juotettu lämpöä johtavalle piirilevyille, ja piirilevyt on kiinnitetty alumiinijäähdyttimeen. Komponentin rakenne koostuu ledisirusta (1), heijastimesta (2) ja rungosta (3), jossa on anodi, katodi ja lämpöä pois kuljettava metallikerros sekä rungon aukon peittävä kirkas linssi, joka suojaa ledisirua ympäristöltä.

■ Forward Current vs.  
Peak Wavelength



■ Spectrum

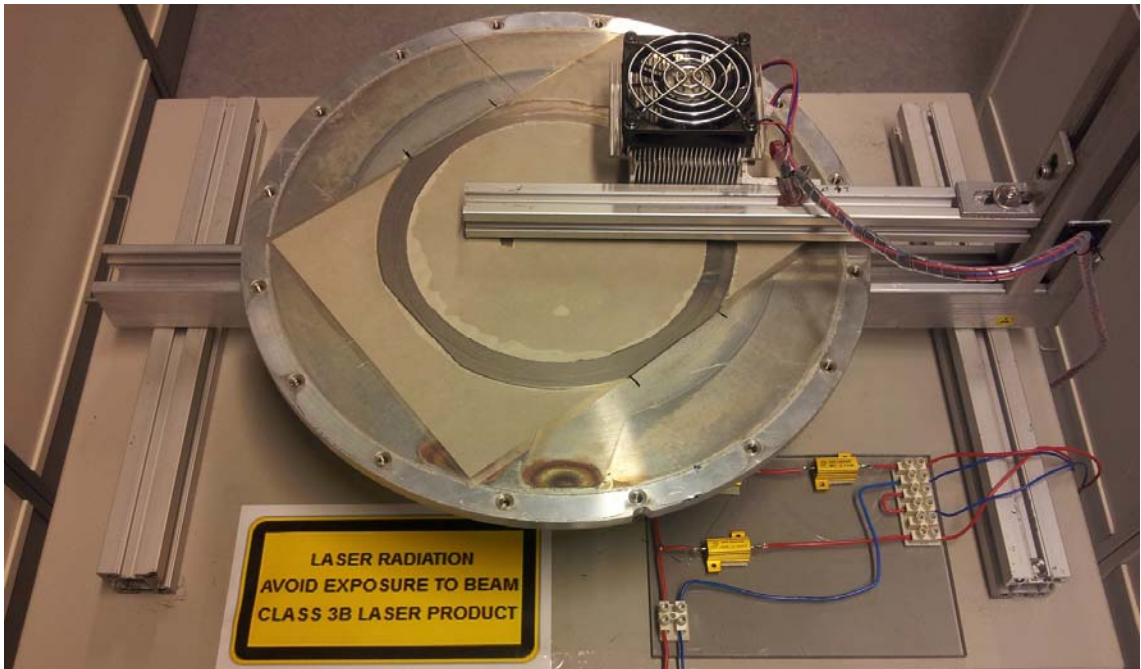


Kuva 27. Nichia NCSU033A:n aallonpituusjakauma [20].

Mallistosta valittiin NCSU033 sen säteilyhuipun vuoksi, joka on noin 365 nm, jonka teippivalmistaja on määritellyt UV-teipille (kuva 27). Huipun paikka muuttuu hieman ledille syötettävän virran ja sirun lämpötilan muuttuessa. Ledi tuottaa myös hieman sinistä valoa, joten sen näkee ollessaan päällä, joka on turvallisuuden kannalta positiivinen tekijä. Valmistaja lupaa tyypilliseksi tehoksi 325 mW 0,5 A virralla. Ledille saa kuitenkin syöttää enimmissään 0,7 A. Valmistajan kanssa käytiin sähköpostikeskusteluja ja he lupasivat, että ledillä voidaan valottaa pintaa yli 220 mW/cm<sup>2</sup> teholla, vaikka tarkat raja-arvot jäivät hämärän peittoon.

## 5 Ultraviolettiledin kokeet ja tulokset

Ledille suunniteltiin kokeita teipin valotuksen toimivuuden selvittämiseksi. Kokeisiin rakennettiin testipenkki, jotta pystyttiin säätämään testiparametreja ja saataisiin tarpeeksi luotettavia tuloksia (kuva 28). Testiparametreja olivat ledin etäisyys valotettavaa kohteesta, ledin paikka xy-koordinaatistossa, valotettavan kohteen etenemisnopeus ja ledille syötettävä virta. Ledin tehoa ja aallonpituutta säädettiin säädettävällä jännitelähteellä ja kiinteällä tehovastuksella. Ledit kytkettiin siten, että voitiin käyttää yhtä, tai kahta lediä yksinkertaisella kytkentämuutoksella.



Kuva 28. NCSU033A-testipenkki.

Valmistaja ilmoittaa ledien kynnysjännitteen vaihtelevan 3,2 ja 4,4 V:n välillä. Molempien testissä käytetyistä ledeistä mitattiin toimivan 3,8 V:n jännitteellä. Tarvittava virta saatiin aikaiseksi käyttämällä etuvastuksia. Vastukset mitoitettiin ohmin lakia käyttäen ja yhden ledin piirin etuvastuksen arvoiksi saatiin 27 ohmia ja siltä vaadittaisiin 13,2 W:n jatkuva tehonkesto. Vastus rakennettiin kahdesta MEGGITT ELECTRONIC COMPONENTS:n valmistamasta CGS HSA25 -vastuksesta, joiden tehonkestoksi ilmoitetaan 25 W. Vastuksien ilmoitetut arvot olivat 22 ohmia ja 4,7 ohmia, ja ne kytkettiin sarjaan. Kytkennän vastukseksi mitattiin yleismittarilla 27.0 ohmia.

Kahden ledin etuvastukseksi mitoitettiin 22 ohmin vastus, jonka tehonkeston tulisi olla vähintään 10,78 W. Vastukseksi valittiin samanlainen 22 ohmin vastus, kuin yhden ledin tapauksessa. 0,7 A:n virran saavuttamiseksi yhden ledin kytkentää tulisi syöttää 22,7 V:n käyttöjännitteellä ja kahden ledin kytkentää 23,0 V käyttöjännitteellä. Vastukset mitoitettiin siten, että kummankin kytkennän käyttöjännite olisi hyvin samanlainen, jotta estettäisiin ledien vioittuminen väärän kytkennän käyttöjännitteen käyttämisen vuoksi. Käyttöjännite haluttiin pitää alle 24 V:n.

Käyttöjännitettä ja piirin läpi kulkevaa virtaa mitattiin yleismittareilla testin ajan ja osa testeistä videoitiin myöhempää tarkastelua varten. Testipenkin avoimuuden ja ledin lähettämän UV-säteilyvaaran vuoksi testit suoritettiin eristetyllä alueella ja silmät suojattiin Laservisionin valmistamilla suojalaseilla, jotka suodattavat 365 nm:n aallonpituuden. NCSU033A luokitellaan CLASS 3B LED -luokkaan tehonsa vuoksi, mutta ledi muodostaa laajenevan kartiokeilan ja on siten turvallinen jo lyhyehkön etäisyyden päästä. Turvallisen etäisyyden määrittäminen on kuitenkin riskialtista, ja on turvallista käyttää suojavälineitä.

## 5.1 Valotusmenetelmän toimivuuden todentaminen

Ensimmäisen kokeen tavoite oli määrittää, voidaanko ledillä onnistuneesti valottaa UV-teippi ja löytää karkeat parametrit, joilla valotus voidaan toteuttaa. Kokeessa oli tarkoitus myös todentaa testipenkin toimivuus ja määrittää, voidaanko testipenkkiä käyttää tulevilla kokeilla.

Kokeeseen varattiin eri teipeillä teipattuja teippikehyksiä 10 kappaletta. Ledi säädettiin silmämääräisesti valottamaan teippi teippikehyksen sisäkehältä ja valotuskorkeus säädettiin noin 1 cm:iin. Testipenkkiin merkattiin käytetyt parametrit. Koe aloitettiin varmistamalla kytkennän toimivuus yleismittarilla mittaamalla kytkennän jännitettä ja kytkennän läpi kulkevaa virtaa. Kytkennän todettiin toimivan suunnitellulla tavalla. Koetta jatkettiin yritys ja erehdys -menetelmällä muuttaen valotusparametreja jokaisen kehyksen välissä. Käytetyt parametrit merkattiin testipenkkiin ja valotustulosta arvioitiin teipin kehykseen jättämän liiman perusteella. Kokeiluja jatkettiin, kunnes materiaali loppui kesken. Viimeisen kehyksen valottaminen tallennettiin videolle.

Kokeessa havaittiin, että ledin teho heikkenee erittäin nopeasti valotusetäisyyden kasvaessa ja testipenkin heikko laakerointi antoi liikaa liikkumistilaa valotettavalle kohteelle. Kokeessa myös havaittiin, että ledien piirilevyillä olevat liittimet olivat liian korkeita. Alustan pyörittäminen tapahtui manuaalisesti, ja tämä aiheutti vaikeuksia tasaisen nopeuden saavuttamisessa. Pyörimisnopeutta ei myöskään voitu säätää kovinkaan tarkasti. Ledejä jäähdyttävä alumiininen jäähdytin ja tuuletin pysyivät huoneenlämpöisenä koko kokeen ajan. Kokeessa havaittiin, että ledin valotuskeilaa ei voitu nähdä suojalasiensa kanssa. Ledin spektrin jakauma ulottuu hieman näkyvän valon puolelle, mutta lasit suodattivat myös tämän aallonpituuden (kuva 29). Kokeessa todettiin myös teipin valotuksen olevan mahdollista UV-ledillä ja siten päätettiin suunnitella uusi kierros kohteita.



Kuva 29. Valotuskoe NCSU033A-ledillä ja Adwill UV-510 -teipillä. Kuvassa näkyy myös ledin tuottama sininen valo.

## 5.2 Valotusnopeuden määrittäminen

Järjestyksessä toisen kokeen tavoite oli määrittää valotusajan ja kappaleen nopeuden vaikutus valotukseen. Ensimmäisestä kokeesta saaduista tuloksista tiedettiin, että ledin etäisyyden teippiin pitää olla alle 3 mm, eikä yhdellä ledillä voida valottaa kehyksen 18 mm:n leveyttä kerralla. Valotusetäisyys säädettiin 2 mm:iin ja paikka säädettiin teipatun kehyksen sisemmän reunan keskelle.

Koe jaettiin kolmeen osioon. Ensimmäisessä osiossa yritettäisiin löytää lyhyin aika, jolla toistettavasti voidaan valottaa teippi yhden kierroksen aikana. Toisessa osiossa pyöritettäisiin kehystä kovalla vauhdilla  $n$  kierrosta samassa ajassa ja verrattaisiin valotuksen laatua ensimmäiseen osioon. Kolmannessa osiossa kehykselle merkattaisiin eri

kohtia ja jokaista kohtaa valotettaisiin satunnainen aika 0,5 ja 2 s:n väliltä. Ledin virran mittausta videoitaisiin ja videosta määritettäisiin aika, jonka ledi on ollut päällä kussakin kohdassa. Kehyksestä mitattaisiin valotuksesta syntynyt ympyrän halkaisija. Kokeessa määritettäisiin aika, jolloin valotettu alue ei enää kasva ja yritettäisiin löytää ajan ja valotetun alan suhde ja näin yritettäisiin määrittellä valotusaikaa.

Uusia kokeita varten testipenkkiä muokattiin hieman edellisen kokeen tulosten perusteella. Pyörivän alustan alle asetettiin rulla ledin kohdalle pitämään valotettavan kohteen etäisyys lediin vakiona ja ledin piirilevyistä poistettiin liittimet ja johtimet juotettiin suoraan piirilevylle. Alustan manuaalista pyörittämistä harjoiteltiin ja todettiin, että harjoittelulla saavutettu tasaisuus ja nopeuden hallinta on riittävä eikä pyörimisen automatisoimiselle ollut tarvetta. Ensimmäisen kokeen videomateriaalissa näkyy ledin tuottama sininen valo, mutta tämän hyödyntäminen oli vaikeaa. Toista koetta varten varattiin erilaisia materiaaleja laitettavaksi ledin alle siinä toivossa, että keila näkyisi jollain materiaalilla. Paperi osoittautui erittäin hyväksi, ja ledin paikka xy-tasossa säädettiin käyttäen millimetripaperia.

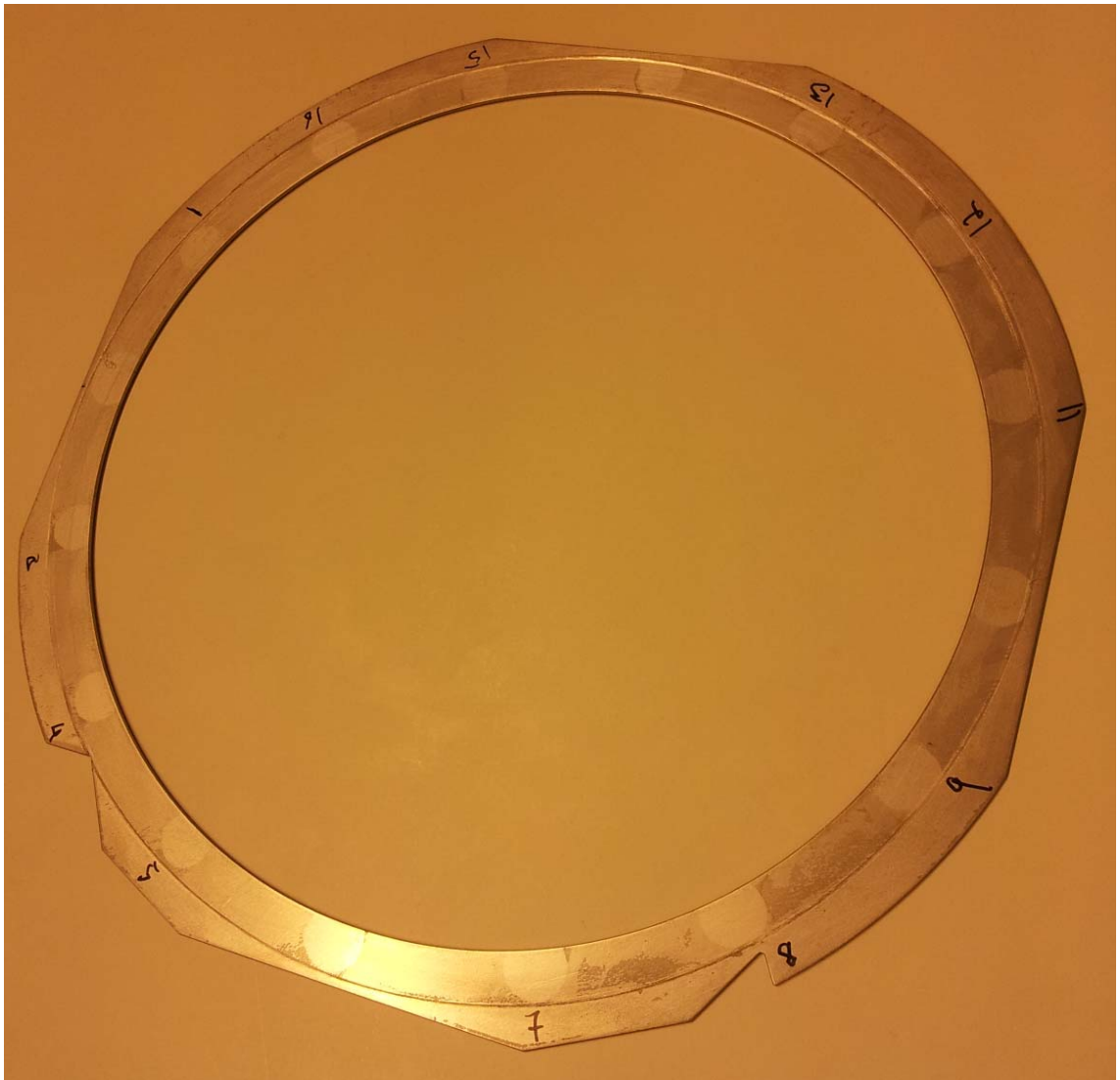
Kokeen ensimmäisessä osiossa määriteltiin, että lyhyin aika, jolla kaikki kolme teippiä pystytään luotettavasti valottamaan koko kehän pituudelta, on 30 s. Paksuin ja väriltään harmaa UV-850 T -teippi vaati selkeästi pisimmän valotusajan. Näin valotusnopeudeksi saatiin 22 mm/s kaavasta

$$\frac{\pi * D}{t} \quad (3)$$

jossa D on valotettavan alueen ulkokehän halkaisija ja t on valotettava aika.

Kokeen toisessa osiossa pyöritettiin alustaa kovahkolla vaihtelevalla nopeudella 30 s ajan. Kokeen ensimmäiset kappaleet valottuivat hyvin, mutta myöhemmät kappaleet valottuivat heikosti. Syyksi todettiin ledin muuttunut valotuskorkeus. Tämän syyksi taas arvioitiin testipenkin tärinä, joka johtui korkeammasta pyöritysnopeudesta. Testimateriaalin käydessä vähiin kokeen toinen osio päätettiin lopettaa ja tulokset jäivät vajaiksi. Kokeen ensimmäisten kappaleiden perusteella voidaan kuitenkin sanoa, että teipin valotus on riippuvainen kokonaisajasta, jonka sitä on valotettu eikä yhtäjaksoisesta valotuksesta.

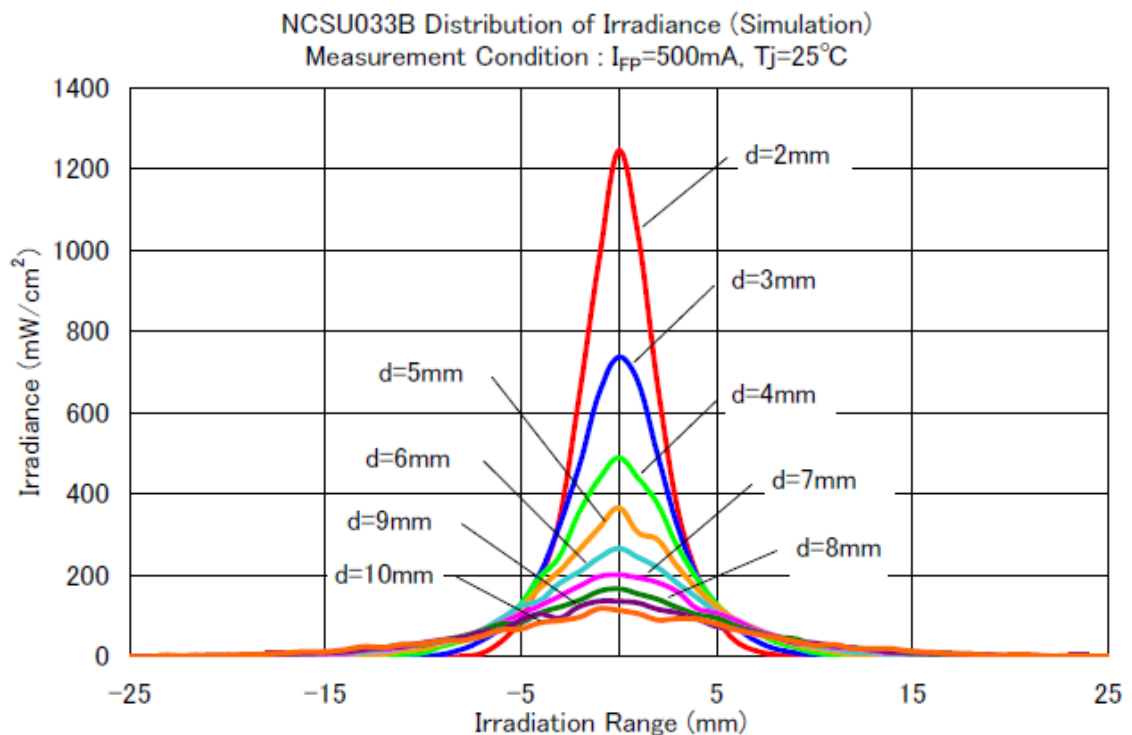
Kolmannessa osiossa valotettiin kehykselle merkattuja 16 kohtaa (kuva 30). Koetta tehdessä havaittiin, että käytetty yleismittari oli hidas reagoimaan virran nousuun, tai virta nousi hitaasti. Virran laskeminen tapahtui kuitenkin nopeasti. Siten valotusaikaa oli erittäin vaikea arvioida. Toinen tuntematon tekijä oli ledin säteilytehon nousun jyrkkyys, jota ei saatu selville. Koetta silti jatkettiin siinä toivossa, että saaduista tuloksista voitaisiin saada jotain selville. Tuloksia käsiteltäessä todettiin, että valotusaikaa ei voitu määrittää luotettavasti eikä kokeen tavoitteita saavutettu. Kokeen kehyksestä tuli kuitenkin visuaalisesti vaikuttava, sillä irrotetusta teipistä jäi normaaliin tapaan reilusti liimaa valottamattomalle alueelle, mutta valotetuista kohdista ei näe silmämääräisesti liimaa ollenkaan. Siten tulokset eivät jääneet pelkkien taulukkotietojen varaan, ja projektin eteenpäin vieminen helpottui.



Kuva 30. 16 liimatonta ympyrää, jotka on tehty valottamalla UV-teippi ennen teipin poistamista teippikehykseltä.

### 5.3 Teippikoneen simulointi

Kolmannen koekierroksen tavoite oli simuloida valotusta teippikoneessa. Koetta varten varattiin poikkeavaa materiaalia. Teippausprosessia muutettiin siten, että ylimääräistä teippiä ei leikattu irti ja poistettu kehykseltä normaaliin tapaan, vaan se jätettiin ehjänä kehykselle ja teippi leikattiin irti teippirullalta. Paljaaksi jäänyt liimapinta peitettiin paperilla, ettei se tarttuisi muihin pintoihin. Kokeeseen varattiin kaikkia kolmea käytettyä UV-teippityyppiä. Mahdollisien UV-säteilyheijastumisen vaikutukset koskemattomaksi tarkoitettuun teippiin haluttiin myös selvittää. Testipenkin UV-ledi asetettiin valottamaan kehyksen ulompi reuna, josta teippi normaalisti poistetaan teippikoneessa. Kokeessa käytettiin yhden ledin kytkentää. Edellisen kokeen tuloksien perusteella päätettiin pienentää edelleen valotusetäisyyttä 1,2 mm:iin. Valotusajan tavoitteeksi asetettiin 30 s, joten alustan nopeuden tulisi olla 2 rpm.



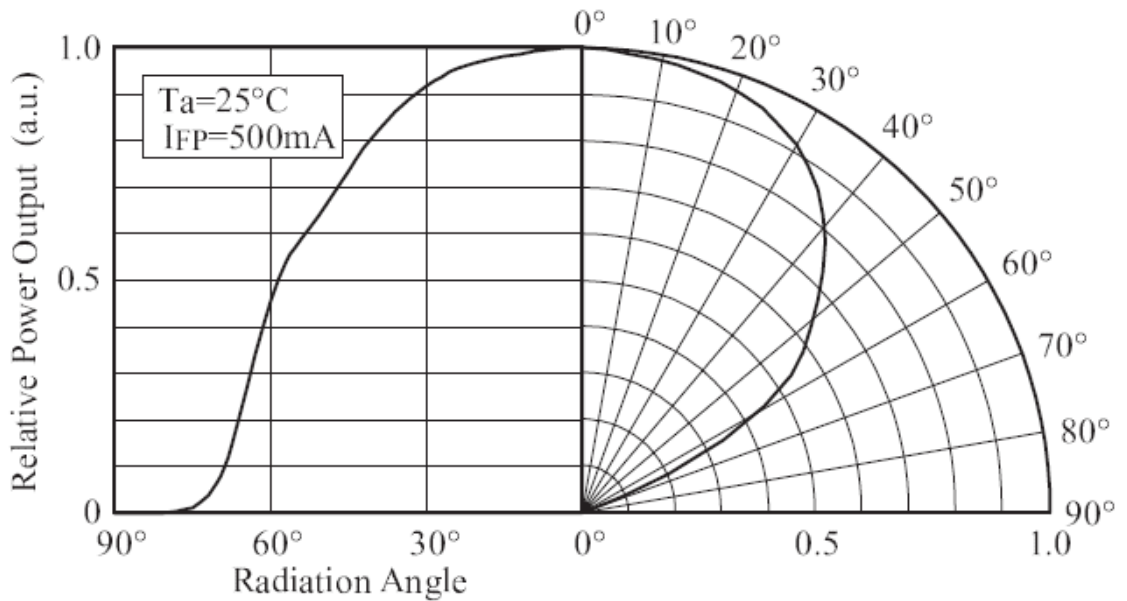
Kuva 31. NCSU033B:n valotusteho etäisyyden funktiona,  $d$  on ledin etäisyys valotettavaan kappaleeseen. NCSU033B on uusi revisio NCSU033A:sta ja eroaa pidemmän käyttöikänsä perusteella.

Koetta suunnitellessa käytiin Nichian teknisen tuen kanssa keskustelua ledin ominaisuuksista ja heidän edustajansa onnistui löytämään kuvan 31. Kuvasta näkyy, kuinka



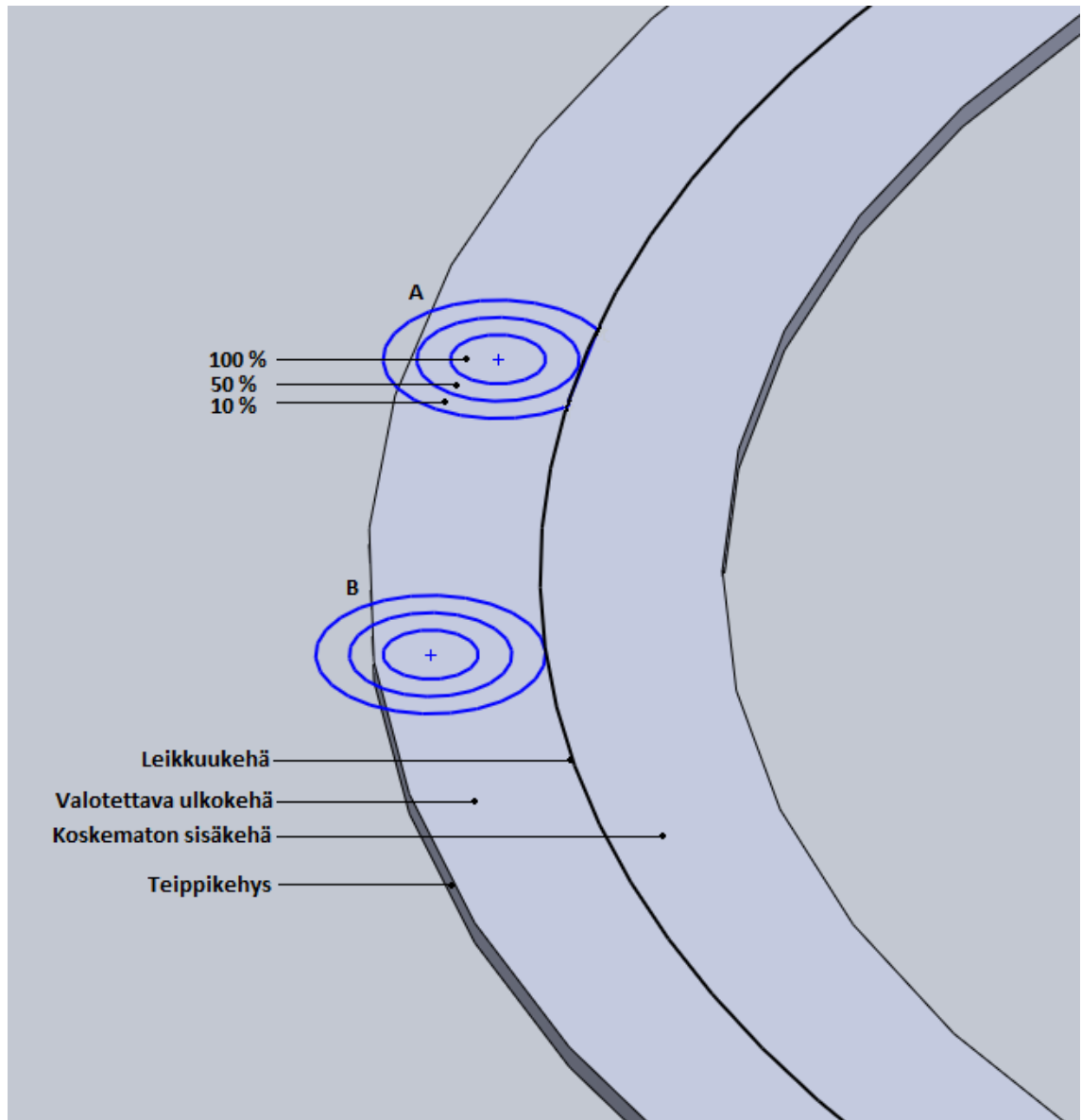
nopeasti valotuskeila laajenee, ja kuinka nopeasti valotusteho vähenee etäisyyden kasvaessa. Kuva tukee aiemmissa kokeissa saatuja tuloksia.

## ■ Directivity



Kuva 32. Ledin UV-teho suhteessa valotuskulmaan [20].

Ledin säteilyteho heikkenee nopeasti lähestyttäessä keilan ulkoreunaa. Ulkoreunan säteilyteho ei ole riittävä valottamaan UV-teippiä, mutta sen vaikutuksia UV-teippiin ei tunneta kunnolla. UV-teipin valottamiseen tarvittu aika myös kasvaa lähestyttäessä keilan ulkoreunaa. Kokeessa pyrittiin katkaisemaan keila kehyksen leikkukehän vastaiselta osalta kuvan 32 noin 60 asteen kohdalta, jolloin leikkukehä valotettaisiin vähintään 50 % valotusteholla ja kehyksen sisäkehä jäisi koskemattomaksi. Kuvassa 33 valotuskeilat kuvataan leikattuna ja leikkaamattomana. A-tilanteessa, jota tavoiteltiin kokeessa, on leikattu osa keilasta pois. Sen epäonnistuessa jouduttaisiin käyttämään B-tilannetta, jolloin valotusaika kasvaisi mutta sisäkehys säilyttäisi koskemattomuutensa.



Kuva 33. Kehyksen ulkoreunan valottaminen leikatulla tai leikkaamattomalla keilalla.

Ledistä peitettiin optiikan kulma teipillä kehän sisälaidalta siinä toivossa, että ledin rakenteesta ei tule heijastumia, jotka ohittaisivat teipin, ja keilaan saataisiin terävä suora reuna. Teoriaa kokeiltiin asettamalla ledin alle paperi, josta näkee ledin keilan. Keila oli onnistuttu katkaisemaan reunasta ja siinä oli terävä suora reuna.

Koe järjestettiin jälleen suljetulla alueella ja kytkennän läpi kulkevaa virtaa tarkkailtiin jatkuvasti. Koe sujui suunnitelmien mukaisesti ja kaikki kokeeseen varatut teippikehykset onnistuttiin valottamaan onnistuneesti.

Kokeen jälkeen todettiin, että teippi irtoaa helposti valotetulta alueelta kehyksen ulkokehältä eikä valotetulle alueelle jää ollenkaan silminnähtävää liimaa. Valotuksesta jää tarkka terävä reuna valotetun ja valottamattoman alueen välille. Valottamattomalta puolelta teipin todettiin olevan täysin koskematon, ja siitä jäi liimaa kehykseen sitä irrottaessa.

Kokeessa havaittiin, että heijastumista johtuvaa valottamista ei tapahtunut ja vahvistettiin, että NCSU033A-optiikka levittää UV-valon laajaksi keilaksi kuvan 31 mukaisesti. Valotusetäisyyden kasvattaminen 1 mm verran vähentää valotustehoa noin kolmanneksen, joten mahdollisesti heijastuva UV-valo on liian pienitehoista valottaakseen UV-teippiä.



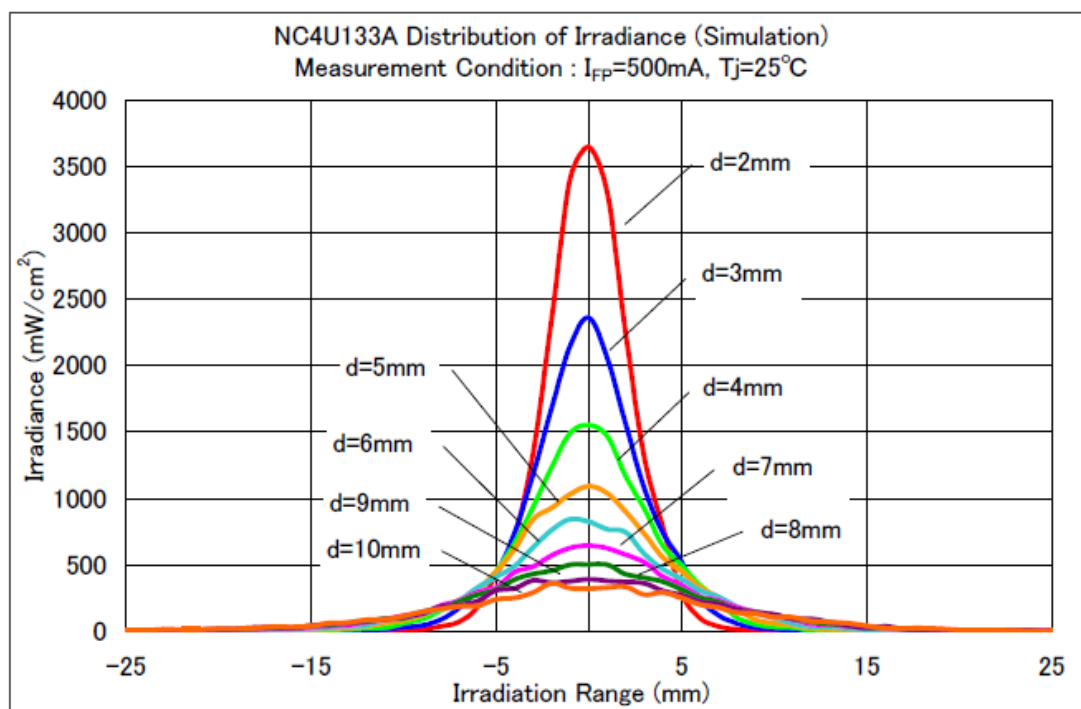
Kuva 34. Valotetun ja valottamattoman alueen liiman siirtyminen UV-850 T-teipistä teippikehykselle ja niiden välinen terävä rajapinta.

Kuvassa 34 näkyy yläaidassa valotettu alue ja alalaidassa valottamaton alue kehyksestä. Yläaidassa ei ole ollenkaan näkyvää liimaa. Alalaita on lähes ytenäisen liiman peitossa. Samanlainen tulos saadaan UV-510, UV-638 ja UV-850 T-teipeillä.

Kokeen yhteenvedossa todettiin, että valotustekniikka toimii toivotulla tavalla ja soveltuu käytettäväksi teippikoneessa valottamaan teipistä irrotettava osio. Ledi voidaan rakentaa erittäin pieneen tilaan ja sen käyttöjännite on pieni. Sen ohjaamiseen ei tarvita

järeää tai vaarallista elektroniikkaa ja sen käyttöikä on erittäin pitkä. Ledi tuottaa alle 5 W lämpötehoa eikä se tuota prosessille vaarallista säteilyä. Ledin todettiin olevan tarpeeksi tehokas käyttötarkoitukseen ja sen hankintahinta ja käyttöhintat ovat matalat.

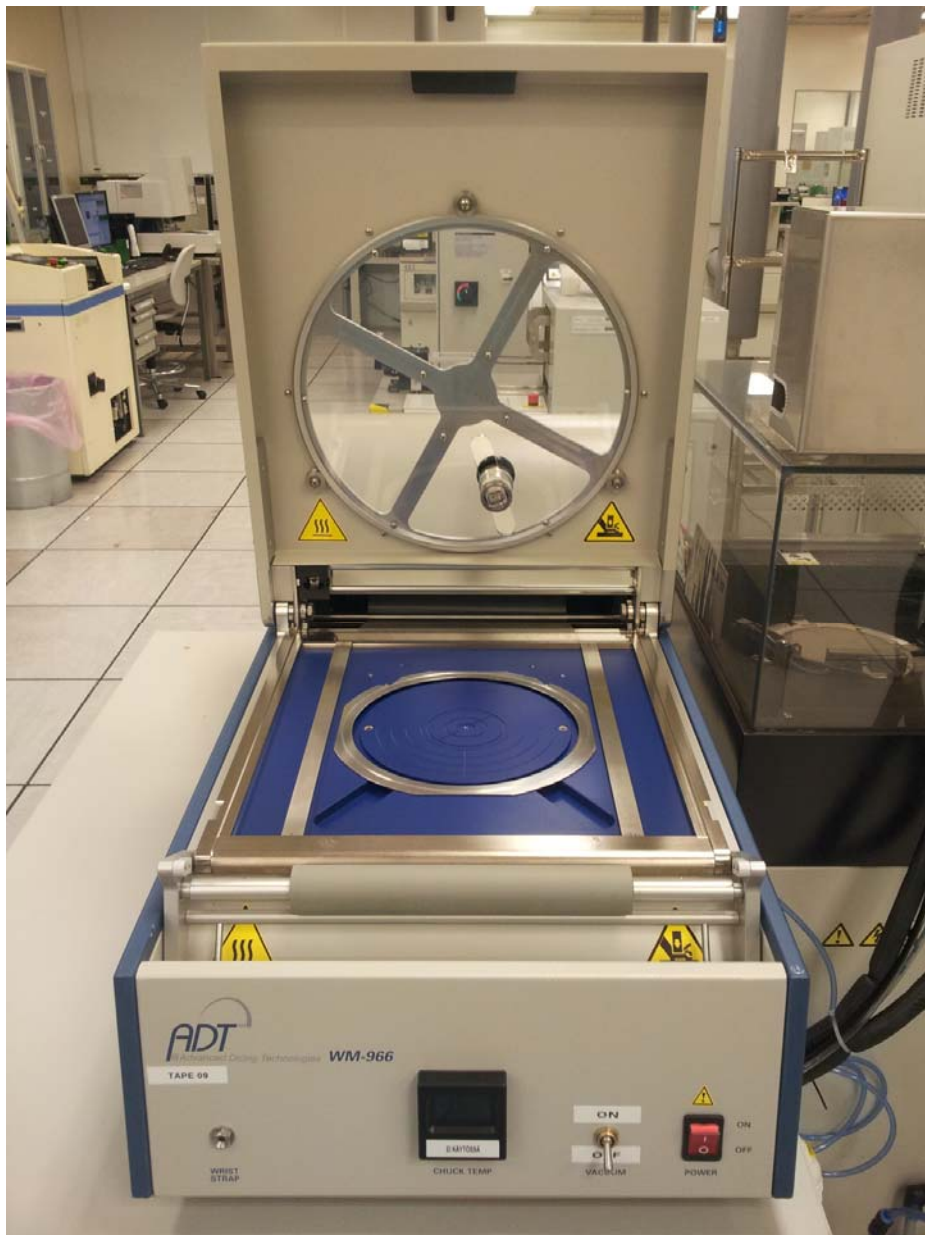
Kokeen yhteenvedossa myös todettiin Nichian valmistavan NC4U133A-lediä, jossa käytetään neljää NCSU033B:ssä käytettyä ledisirua, jonka tyypilliseksi tehoksi ilmoitetaan 1,2 W (kuva 35). Kyseistä lediä ei saatu testeihin mutta sen ominaisuudet lupavat, että sillä voidaan tarvittaessa valottaa teippi isomman etäisyyden päästä. Yhteenvedossa myös todettiin, että markkinoilta löytyy optiikkaa, jota voitaisiin käyttää yhdessä ledin kanssa keräämään säteilykeila halutunlaiseksi keilaksi. Optiikka kuitenkin lisää rajapinnan, jonka UV-säteily joutuu läpäisemään, joka voi pienentää teipin saamaa valotustehoa.



Kuva 35. NC4U133A:n valotusteho etäisyyden funktiona, d on ledin etäisyys valotettavaan kappaleeseen.

## 6 Ratkaisut liimanpoistoprojektiin

UV-ledin koetulokset olivat niin lupaavia, että mekaanisen harjapesurin kehittäminen ja kuivajääpuhdistus päätettiin hylätä ja keskityttiin suunnittelemaan UV-valotusta teippikoneeseen. Teippikoneeksi valittiin ADT:n valmistama WM-966 Workpiece Mounting Unit hyvien käyttökokemusten perusteella ja laitekannan yhtenäisyyden vuoksi (kuva 36). Tuorein tuotantoon hankittu teippikone on mallia WM-966, jonka lisäksi yksi laite on hankkeilla. Vanhojen teippikoneiden päivittäminen WM-966:ksi oli siten luonnollinen ja perusteltu ratkaisu, ja laite sopii rakenteeltaan laajennettavaksi.



Kuva 36. ADT WM-966 Workpiece Mounting Unit (teippikone).

Olemassa olevan WM-966-teippikoneen ominaisuuksia tutkittiin etsittäessä ratkaisuja projektin ongelmiin. Tutkimuksen perustana oli löytää ne asiat, jotka pitää toteuttaa projektin tavoitteiden saavuttamiseksi, ja luoda niistä lista. Listan yhtenä kohtana olisi uusien teippikoneiden hankinta UV-valottimilla, mihin sisältyy vaatimuslista teippikoneen modifioinnista. Teippikoneen muita vaatimuksia ei ollut tarkoitus määrittää uudelleen vaan todettiin, että teippikoneen on edelleen toimittava sen alkuperäisessä tehtävässä.

### 6.1 Liimajäämien poistaminen teippikehyksistä

Liimajäämien todettiin poistuvan, kun teippi valotetaan oikeaoppisesti ennen teipin irrottamista. Teippikoneeseen päätettiin rakentaa automatisoitu valotin, joka valottaa teippikoneessa irrotettavan teipin, ennen teipin irrottamista. Valotus rakennettaisiin teippikoneen kanteen teipin leikkaavan terän yhteyteen. Valotuksen tulisi toimia nappia painamalla.

Valotusprosessin parametreiksi määriteltiin valotettava etäisyys, ledin teho, pyöriksen nopeus ja ledin pyörimiskehä (taulukko 5). Pyöriksen tasaisuudelle asetettiin vaatimukseksi sulava liike. Parametrien tulisi olla säädettävissä prosessikehityksen aikana, minkä jälkeen ne lukittaisiin käyttöön. Säättöjen resoluutiota ei määritelty erikseen, mutta todettiin, että niiden on oltava riittäviä prosessille.

Taulukko 5. Valotuksen parametrit

Parametri	Vaihteluväli	Yksikkö
Valotusetäisyys	0 - 20	mm
Ledin teho	0 - 0,7	A
Pyöriksen nopeus	0 - 5	rpm
Pyörimiskehä d	190 -230	mm
Terää painava voima	0 - 10	kg

Leikkaustoiminto päätettiin yhdistää valotustoimintoon. Teipin tulisi leikkaantua samalla napin painalluksella, kun teippi valottuu. Terää alas painava voima lisättiin parametriltaan.

## 6.2 Teippisoirojen poistaminen teippikehyksistä

Teippisoirojen todettiin aikaisemmin syntyvän leikkuuradan muutoksista, jonka aiheuttaa terän välykset ja teipin jännityksistä johtuva teippikehyksen liike, ja siten tarpeesta pyörittää terää useita kierroksia.

WM-966-koneen terän välykset ovat hyvin pieniä ja kone leikkaa melko hyvin samaa rataa pitkin. Teippikehys pääsee kuitenkin edelleen liikkumaan teipin venyttämisestä aiheutuvan jännityksen vuoksi. ADT-teippikoneessa on samankaltainen ratkaisu teipin leikkaamiseen kuin vanhoissakin koneissa. Vapaasti pyörivässä kannessa on alas painettava terä. Avattaessa kannen, terä pyöriä painovoiman johdosta jotakuinkin alaspäin. Tällöin leikkaaminen aloitetaan teipin venymissuuntaan nähden pahimmasta mahdollisesta paikasta. Tähän ratkaisuksi keksittiin aloittaa teipin leikkaaminen koneen oikeasta tai vasemmasta laidasta, jolloin kehyksen liikkuminen koneen pituussuuntaan nähden ei ole niin haitallista.

Idea kokeiltiin olemassa olevassa WM-966-koneessa hyvin tuloksin. Soivot pystyttiin hävittämään käytännössä kokonaan. Kokeessa todettiin, että leikkaamiseen riittää hieman yli kierros, joka on aloitettu koneen laidasta. Tällöin teippi leikkaantui yhtenäisesti koko kehän matkalta. Kokeessa todettiin, että on mahdollista, että teippisoiro voi syntyä mutta sen pituus on enintään matka, jonka terä kulkee yli kierroksen, ja teippisoiroja ei voi syntyä kuin yksi kappale ja aina samaan paikkaan. Yksittäinen teippisoiro on nopea tarkistaa visuaalisesti ja helppo poistaa.

Teippisoirojen synty päätettiin estää määrittämällä leikkuuprosessille alkamis- ja loppuspisteet. Prosessin tulisi alkaa jommastakummasta reunasta ja ylittää hieman täyden kierroksen pituus. Tästä syntyi uusi vaatimus.

## 6.3 Kehyksien ruostumisen estäminen

Kehyksien ruostuminen johtui niiden huonosta kuivatuksesta. Koska liiman pesuvaiheesta päästään eroon, teippikehyksiä ei tarvitse kastella uudestaan astianpesukonepesun jälkeen. Pesu päätettiin säilyttää, koska kehykset edelleen likaantuvat sahauslastuista. Astianpesukonepesun todettiin kokein riittävän kehyksien pesemiseksi.

Kehysten todettiin kuivuvan hyvin nopeasti astianpesukonepesun jälkeen. Kehykset pestään 90 °C lämpötilassa, minkä jälkeen kone kuivaa kehykset höyryn avulla. Astianpesukone avataan ohjelman valmistuessa ja kehykset kuivuvat ja viilentyvät käyttövalmiiksi muutamassa minuutissa. Kuivatus on erittäin tehokas ja takaa tasaisen ja hyvän laadun.

#### 6.4 Kehyksien naarmuuntumisen estäminen

Kehyksiä naarmuttava pesuvaihe poistuu ja vanhojen sahauskehyksien tilalle ostetaan uudet kehykset. Siten matat lasikuulapuhalletut AVI-kehykset on helppo erottaa kiiltävistä sahauskehyksistä. Tuotantoon laaditaan päivitetyt ohjeet, joista selviävät kehyksien erot, ja operaattorit koulutetaan erottamaan kehykset.

Väliaikaiseksi ratkaisuksi ehdotettiin lasikuulapuhallettujen kehyksien merkkäämistä lasermerkinnöillä, mikäli siihen nähdään tarvetta. Työ voitaisiin ulkoistaa lasermerkintäyritykselle, mutta työn alla oleville kehyksille pitäisi teettää uudet tilalle. Lasermerkinnöille pyydettiin tarjous, mutta uusien kehyksien lasikuulapuhaltaminen todettiin kalliimmaksi kuin siitä saatava hyöty. Projektissa päätettiin, ettei lasermerkkäystä tehdä ja odotetaan manuaalisen pesun poistumista ja uusia sahauskehyksiä.

#### 6.5 Puhdastilakäsineiden liimaantumisen estäminen

UV-valottavien teippikoneiden käyttöönoton jälkeen liima ei enää tartu teippikehyksistä käsiin. Teippikonetta tutkittaessa kävi kuitenkin selväksi, ettei teippausta voida suorittaa koskematta poistettavan teipin liimapintaan. Tämä johtuu teippikoneen perusrakenteesta. Ratkaisuksi esitettiin teippikoneen rungon muutoksia, joita ei kuitenkaan asetettu vaatimuslistalle, sillä teippauksen jälkeen operaattori voi yksinkertaisesti vaihtaa käsiin.

Teippikoneen rungon modifiointi päätettiin jättää nyt tekemättä, ja teippauspisteelle päätettiin sijoittaa käsinpiste, josta operaattori voi vetää teippauksen ajaksi toiset käsiin entisten päälle. Teippaustapahtuman jälkeen päällimmäiset käsiin poistetaan ja heitetään roskakoriin.



## 6.6 Hajautettujen työpisteiden keskittäminen

Kuten projektin johdannossa todettiin, teipit irrotetaan kehyksiltä usein leikkaamalla teipin sisus pois teippikehyksen sisäreunaa pitkin. Ongelma johtuu suurimmaksi osaksi operaattoreiden vajaasta koulutuksesta ja hajautetusta toiminnasta. Kaikki kehykset tulisi palauttaa teipin kanssa sahaukseen, jonne perustetaan uusi työpiste. Työpiste sijoitetaan valottimen välittömään läheisyyteen korvaamaan aiempia useita työpisteitä.

Työpisteelle hankitaan apuvälineitä, joilla valotettu teippi on helppo irrottaa käsin. Kun vastaan tulee kehys, jonka teippiä ei ole valotettu kunnolla, se valotetaan valottimessa. Työvaiheelle tehdään uusi työohje ja operaattoreille annetaan lisäkoulutusta teipin valottamisesta. Työn suorittaa sahauksen operaattori, joka tuntee teipin irrottamisprosessin tärkeyden kehyksen pesemiselle. Tällä varmistetaan työn laatu, kun tekijä ymmärtää väärin irrotetun teipin aiheuttaman lisätyön ja joutuu vielä itse suorittamaan sen. Koko prosessin keskittäminen yhdelle helposti hallittavalle ja ymmärrettävälle alueelle tukee myös jatkuvaa parantamista ja takaa, ettei tämän työn laajuisia projekteja tarvitse järjestää aiheesta uudestaan.

Teippausohjetta päivitetään siten, että vikaan menneen teippauksen jälkeen teippi valotetaan ennen sen irrottamista ja kehys toimitetaan muiden käytettyjen kehyksien joukkoon. Myös tämä lisätään operaattoreiden koulutukseen.

## 6.7 Manuaalisen pesuvaiheen poistaminen

Uusien teippikoneiden myötä kehyksien manuaalinen pesu poistuu kokonaan, eikä siten tapahdu puhdastilassa. Pesupisteen poistuminen ja teipinpoistopisteiden korvaaminen yhdellä pisteellä vähentää prosessin vaatimaa tilaa puhdastilassa huomattavasti ja vapauttaa tilaa uusille tuotantolaitteille.

Kehykset palautuvat tuotannon käyttöön aiempaa nopeammin, kun ne eivät odota valtavissa pinoissa pesua. Pesutyövaihe nopeutuu manuaalisen pesun ja kehyksien kuivattamisen poistuessa. Näiden ongelmien ratkaiseminen säästää aikaa, rahaa ja hermoja sekä parantaa elementtivalmistuksen laatua ja vähentää hyvien elementtien hylkyä.

## 6.8 Yhteenveto projektin ratkaisusta

Projektin tavoitteet olisi voitu saavuttaa monella eri ratkaisulla, mutta uuden teipinvalotustekniikan ja teippikoneen kehittäminen osoittautui onnistuneeksi ratkaisuksi. Projektin tavoitteet voidaan näin saavuttaa hyvin pienillä muutoksilla ja investoinneilla (taulukko 6). Lisäksi teippauskoneiden uusimisella saavutetaan muita merkittäviä hyötyjä, kuten teipin varuserojen tasaaminen ionisaattorilla, ja kiekon kiinnittyminen vakuumilla teippikoneeseen.

Taulukko 6. Ehdotetut muutokset

	<b>Ehdotetut muutokset</b>
<b>1</b>	Uudet teippikoneet UV-valottimella
<b>2</b>	Uudet sahauskehykset
<b>3</b>	Puhdastilakäsinepiste
<b>4</b>	Uusi teipinpoistopiste
<b>5</b>	Uudet työohjeet
<b>6</b>	Operaattorikoulutukset
<b>7</b>	Vanhojen työpisteiden poisto

Ensimmäisen koneen onnistuessa saavuttamaan sille asetetut tavoitteet, kaikki käytössä olevat teippikoneet uusittaisiin valottaviksi malleiksi ja projektin kaikki muutokset toteutettaisiin. Teipinpoistopisteeseen liittyvät uudistukset voidaan toteuttaa manuaalisen puhdistuksen vähentyessä ja manuaalinen pesu poistaa, kun kaikki UV-teippikoneet on onnistuneesti päivitetty uusiin.

## 7 Valotinmoduulin suunnittelu teippikoneeseen

Projektin tavoitteisiin ei alun perin kuulunut laitteen suunnittelu, vaan tarkoituksena oli esittää jokin laite hankittavaksi. Projektissa kuitenkin kehitettiin täysin uusi tapa valottaa teippi, ja näin ollen markkinoilla ei ollut laitetta, jota olisi voitu ehdottaa suoraan hankittavaksi. Saatavilla olevat resurssit sanelivat tarpeen tehdä suunnittelutyö itse ulkoistuksen sijaan. Projektin jatkeeksi päätettiin ostaa uusi teippikone, johon suunniteltaisiin UV-valotus ja toteutettaisiin muutokset. Tässä opinnäytetyössä esitetään karkea suunnittelutyö. Aikataulullisista ja käytännön syistä koneen rakentamista, käyttökokemuksia ja parantamishdotuksia ei voitu sisältää tähän työhön.

Suunnittelutyössä käytettiin pohjalla ADT:n valmistamaa WM-966-teippikonetta ja aiemmin tehtyä vaatimuslistaa. Kun vaatimuslistaa tutkittiin, todettiin, että vaatimukset voidaan toteuttaa suunnittelemalla koneeseen uusi kansi. Kone säilytettäisiin muutoin hyvin pitkälti ennallaan. Suunnittelu aloitettiin laajentamalla vaatimuslistaa, jotta kone voidaan ottaa käyttöön tuotantoon. Tämä lisää vaatimuslistalle CE-merkinnän ja siihen liittyvät vaatimukset sekä puhdastilaympäristön vaatimat seikat. (Taulukko 7.)

Taulukko 7. Teippikoneen vaatimuslista

	<b>Vaatimuslista</b>
<b>1</b>	Teippauksen toimivuuden säilyttäminen
<b>2</b>	Irrotettavan teipin valottaminen
<b>3</b>	Valotusparametrien säätö
<b>4</b>	Valottimen sulava liike
<b>5</b>	Valotuksen / leikkauksen toimiminen napin painalluksella
<b>6</b>	Leikkuun aloitus- ja lopetuspiste
<b>7</b>	CE-merkintä
<b>8</b>	Puhdastilaympäristön vaatimukset

Vaatimuslistan valmistuttua koneelle tehtiin alustava yleispiirteellinen suunnittelu sen toiminnoista ja vaatimista osista. Laitteen kanteen tulisi servo vaihdelaatikon taakse pyörittämään leikkuria ja valotinta. PLC ohjaisi servon käyttöä ja ledin kontrolleria. Kaikki sähköiset osat sijoitettaisiin hätäseis-piiriin taakse. Hätäseis-piirissä on laitteen päävirtakatkaisija ja ON-nappi, jolla alustetaan laite käynnistettäessä. Myös PLC kykenee tarvittaessa tekemään laitteesta virrattoman aktivoimalla hätäseis-piiriin. PLC:n

työkierto aloitetaan laitteen kanteen tulevasta käynnistä-painikkeesta, joka samalla lukitsee laitteen kannen.

Kun suunnittelu oli valmis ja tiedettiin jotakuinkin mitä koneen tulisi tehdä ja miten, aloitettiin määrittämään turvalaitteita ISO 13849-1 -standardin mukaan. Aluksi tehtiin riskiarviointi ISO 14121:n mukaan. Riskiarvioinnissa todettiin, että koneessa on kahdenlaista vaaraa. Ensimmäinen vaara on kannen ja laitteen väliin puristumisvaara ja toinen vaara on UV-säteilylle altistuminen. [21; 22.]

Riskiarvioinnissa muutettiin laitteen suunnittelua riskien pienentämiseksi lisäämällä kanteen mikrokytkimen, jonka kautta ledin sähkönsyöttö kulkee, ja lisäämällä logiikkaan ledin ohjaamisen lisäksi kyky määrittää ledin tilanne, mittaamalla sille syötettyä jännitettä analogisesti. Kanteen lisättiin kaasujousi, joka vaimentaa kannen liikkeen sen lähestyessä kiinniasentoa ja siten parantaa turvallisuutta. Turvalaitteiksi määriteltiin näin kannen mikrokytkin ja kaasujousi. [22.]

Kannen ja laitteen väliin jäämisestä aiheutuvan vamman arvioitiin olevan vakavuudeltaan S1, lievä vamma, pahimmillaan ruhje, mustelma tai haava. Tapahtuman taajuuden todettiin olevan F1, eli toistuu harvemmin kuin kerran tunnissa ja tapahtumisaika on lyhyt. Mahdollisuuden välttää vaara todettiin olevan epätodennäköinen, joten sille asetettiin P2, ja näin saatiin PLr-luokitus b. Kannen kaasujousen kytkentöjen kesto B10d on yli 50 000 iskua. Laitetta käytetään korkeintaan 100 kertaa päivässä, joten vuodessa tulee 36 500 iskua. Tästä saadaan MTTFd-arvoksi > 13 vuotta, kun lasketaan kaavasta

$$MTTFd = \frac{B10d}{0,1*nop} \quad (4)$$

jossa nop kuvaa kytkentöjä vuodessa. Tällöin kannelle saavutetaan turvallisuustaso c, joka on parempi kuin vaadittu luokitus b. [21.]

Toisena vaarana todettiin olevan laitteessa käytetty UV-ledin kytkeytyminen päälle kannen ollessa auki. Tässä todettiin mahdollisen vamman olevan vakava, sillä se voi aiheuttaa pysyvän silmävamman, joten sille asetettiin S2. Tapahtuman taajuudeksi todettiin jälleen F1. Laitteessa käytössä oleva UV-ledi tuottaa myös näkyvää sinistä

valoa, joten ledistä näkyy, milloin se on päällä. Vahinko ei aiheudu välittömästi vaan vaatii pidempää altistumista. Kyky nähdä ledin sininen valo antaa mahdollisuuden päästä vaaralta pakoon. Siten mahdollisuuden välttyä vaaralta todettiin olevan P1. Tällöin UV-valotukselle saatiin PLr-luokitus c. Laitteessa päätettiin käyttää turvalaitteena kosketuksetonta turvarajakytkintä, jonka PL-luokitus on vähintään d, joka estää ledin kytkeytymisen kannen ollessa auki. [21.]

Järjestelmäratkaisun valinnassa voitiin käyttää suunnittelussa luokkaa 2, sillä ledin ohjaus pystytään tarkistamaan analogisella takaisinkytkennällä. Diagnostiikan kattavuudeksi voitiin käyttää medium-saraketta samasta syystä ja siten käyttää komponentteja, joiden MTTFd  $\geq 10 < 30$  vuotta. [21.]

Taulukko 8. Standardin ISO 13849-1 taulukon F.1 mukainen pisteytysprosessi ja yhteisvikaantumista estävien toimenpiteiden määrällinen arviointi. [21].

	<b>Yhteisvikaantumista estävä toimenpide</b>	
1	<b>Signaalien fyysinen erottaminen</b>	15
2	<b>Erilaisuus (diversiteetti)</b>	20
3	<b>Suunnittelu, soveltaminen ja kokemukset</b>	
3.1	Suojaustoimenpiteet ylijännitteelle, ylipaineelle, ylivirrälle jne.	15
3.2	Käytetyt komponentit ovat hyvin koeteltuja	5
4	<b>Arviointi ja analyysit</b>	0
5	<b>Pätevyys ja koulutus</b>	5
6	<b>Ympäristöolosuhteisiin liittyvät toimenpiteet</b>	
6.1	Likaantumisen estäminen ja sähkömagneettinen yhteensopivuus yhteisvikaantumisten estämiseksi soveltuvien standardien mukaisesti	0
6.2	Muut vaikutukset	10
	<b>Yhteensä (65 tai enemmän täyttää vaatimukset)</b>	<b>70</b>

Luokan 2 käytön vuoksi tehtiin yhteisvikaantumisen arviointi standardin ISO 13849-1 *pisteytysprosessi ja yhteisvikaantumista estävien toimenpiteiden määrällinen arviointi* mukaan (taulukko 8). Kohdasta 1 saavutetaan 15 pistettä, sillä signaalireitit on erotettu. Kohdasta 2 tulee 20 pistettä, sillä ledin tila määritetään analogisesti ja digitaalisesti ja rakenteessa on käytetty eri valmistajien komponentteja. [21.]

Kohdasta 3.1 tulee 15 pistettä, sillä kaikki osat on suojattu sulakkeilla ja kohdasta 3.2 tulee 5 pistettä, sillä kaikki komponentit ovat hyvin koeteltuja. Kohdan 4 ja 6.1 kaikkia ehtoja ei täytetä, joten niistä tulee 0 pistettä. Kohdasta 5 tulee 5 pistettä, sillä suunnitte-

lu- ja ylläpito henkilöstä on tarpeeksi koulutettua. Kohdasta 6.2 ympäristön vaikutukset on otettu huomioon ja siitä tulee 10 pistettä. [21.]

Siten laitteelle annetaan 70 pistettä ja todetaan toimenpiteiden yhteisvikaantumisten välttämiseksi olevan riittävät. Laitteen kokonaisturvallisuuden todetaan myös olevan riittävä, sillä laite saavuttaa PL- tason c. [21.]

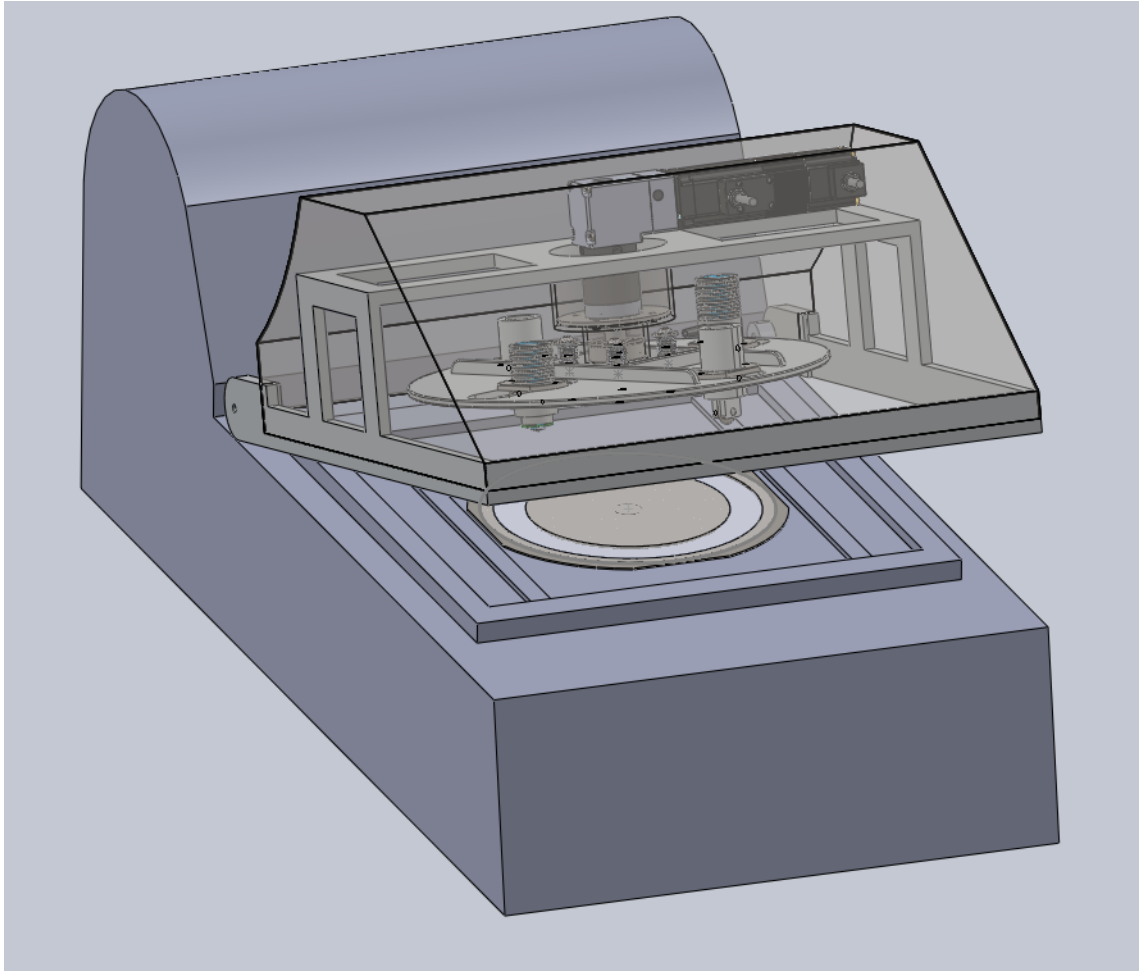
Kun koneen turvalaitteet oli määritelty, voitiin aloittaa tarkempi mekaaninen suunnittelu. Olemassa olevan kannen modifiointi osoittautui kannattamattomaksi siinä käytettyjen ratkaisujen vuoksi. Kannen yleinen rakenne oli liian kevyt ja leikkurin sisältävän kiertävän kiekon laakerointi oli riittämätön. Kokonaan uuden kannen teettäminen osoittautui lopulta järkevämmäksi vaihtoehdoksi.



Kuva 37. NCSU033B UV-ledi juotettuna piirilevylle ja kiinnitettynä jäähdytimeen.

Valotukseen käytettiin Thorlabsin valmistamaa CE-merkittyä piirilevylle juotettua Nichian NCSU033B-lediä (kuva 37). Piirilevy on kiinnitetty mitoitettuun jäähdytyslementtiin ja lediä ohjataan tarkoitukseen tehdyllä controllerilla. Ledin piirilevyllä on EEPROM-piiri, jolla on ledin tiedot muistissa. Controlleri käy lukemassa tiedot ja lukitsee käyttöön asi-aankuuluvan maksimivirran. Siten käyttäjä ei voi vahingossa polttaa lediä. Ledille myös määriteltiin optiikka, jolla saatiin kasvatettua valotusetäisyyttä ja näin estetään ledin

partikkelien keräämistä ja helpotetaan sen puhdistusta. Ledin kontrolleriin pystytään tallentamaan halutut asetukset, joilla lediä käytetään, ja kontrolleria ohjataan ulkoisella analogisella signaalilla.



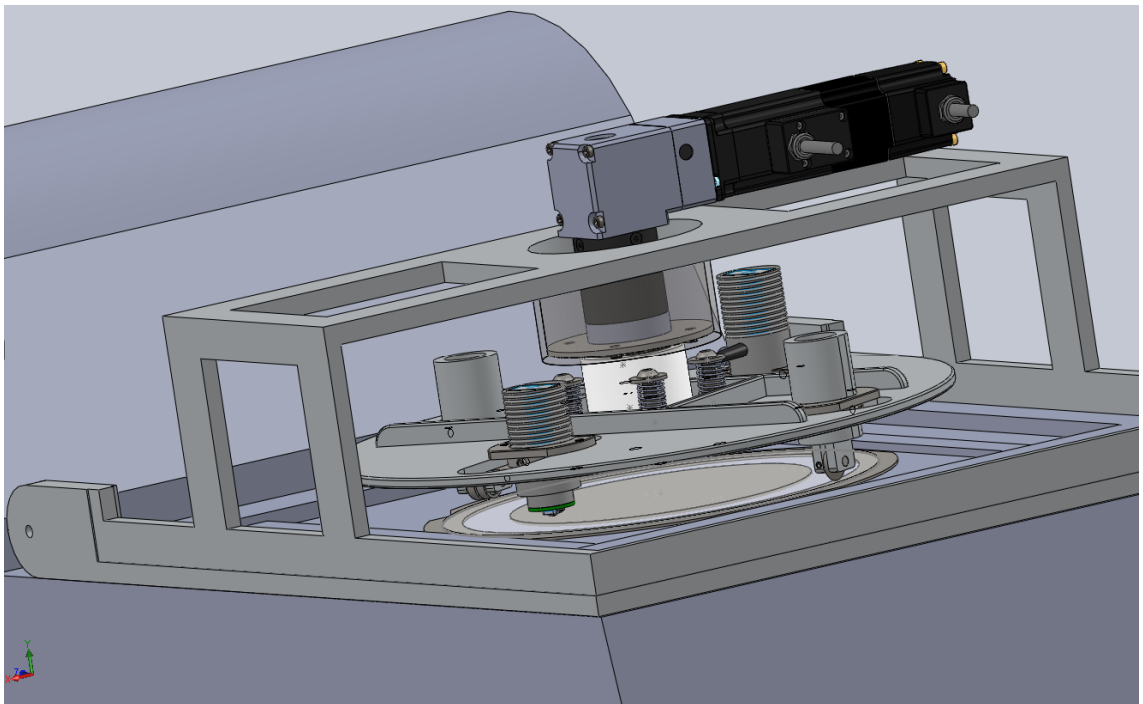
Kuva 38. ADT WM-966-teippauskoneeseen valmistettava kansi.

Laitteen ohjaukseen valittiin Beckhoffin valmistama sulautettu järjestelmä, servon käyttö ja servo vaihdelaatikolla varustettuna. Kaikki ohjauslaitteet voidaan siten asentaa pieneen tilaan DIN-kiskolle. Laitteen ohjaukseen liittyvät osat asennetaan omaan koteloon päävirtakatkaisimen kanssa laitteen alla olevan pöydän pohjan etureunaan, yhdessä sulakkeiden ja hätäseis-piirin kanssa. Servo ja vaihdelaatikko mitoitettiin siten, että teippiä voidaan leikata sulavalla liikkeellä terän pystysuoran kuorman ollessa 100 N.

Mekaanisien ratkaisujen pääpiirteet olivat jäykkä kannen rakenne, joka koostuu jykävähköstä kannen rungosta ja sitä jäykistävästä peltikuoresta. Servo kytketään suoraan

vaihdelaatikkoon, joka asennetaan pyörittämään kannen kiekkoa moottorin laipan kautta. Kiekko liikkuu pystysuorassa laipalla neljän jousen varassa, joiden kireyttä voidaan säätää. (Kuva 38.)

Kiekkoon on kiinnitetty teipin leikkuri ja sen vastapuolena laakeroitu rulla, joten leikkurista ei aiheudu kuin yhden suuntaista momenttia. Leikkurille asetettiin 100 N:n maksimi pystysuoravoima, joten rullan kanssa jousien aiheuttamaksi voimaksi määriteltiin yhteensä maksimissaan 200 N. Jouset puristuvat, kun kansi laitetaan kiinni. Moottorin laippa kiinnitettiin kannen runkoon IP61 koteloidulla liukurenkaalla, jossa on 2 kappaletta syväuraisia kuulalaakereita, joihin kohdistuvat leikkauksen aiheuttamat voimat.



Kuva 39. Kannen kiekko ja siihen kiinnitetyt ledit, leikkuri ja rulla.

Kiekkoon on kiinnitetty UV-ledi ja siihen on jätetty vara toiselle UV-ledille, jolla voidaan tulevaisuudessa valottaa teippikehyksen ja kiekon välinen alue terärikköjen vähentämiseksi sahauksessa. Ledien sähköjohtimet kulkevat akselin liukurenkaan lävitse kontrolleille. (Kuva 39.)

Mekaanisessa suunnittelussa pyrittiin vähentämään valmistuskustannuksia suunnitelmalla helposti valmistettavia osia, jotka ovat pääsääntöisesti pyörähdyskappaleita. Laitteen runkoa lukuun ottamatta kaikki teetettävät osat voidaan valmistaa sorvia ja



jiysintä käyttäen. Suunnittelussa pyrittiin myös välttämään ylimääräisten tolerointien tarvetta, ja tässä onnistuttiin erinomaisen hyvin.

Mekaaninen suunnittelu tehtiin kahteen kertaan, jotta ensimmäisellä kerralla tehdyistä virheistä voitiin oppia ja suunnittelutyöstä saatiin mahdollisemman kypsä ennen osien siirtämistä valmistukseen. Ensimmäinen laite on tarkoitus ottaa tuotannossa käyttöön, joten sen tulisi olla mahdollisemman valmis. Suunnittelussa onnistuttiin lopulta erittäin hyvin ja saatiin rakenne yksinkertaiseksi ja halvaksi valmistaa sekä mahtumaan pienen tilaan. Kaikki laitteelle asetetut vaatimukset onnistuttiin täyttämään.

## 8 Yhteenveto

Tässä insinööriyössä tutkittiin, miten piikiekkojen sahausprosessissa käytettävästä teippikehyksestä voidaan poistaa liimajäämät. Erilaisia puhdistusmenetelmiä tutkittiin yhdessä liimajäämien synnyn estämisen kanssa. Liimajäämien syntymisen estämiseksi tutkittiin erilaisia UV-valotustekniikoita ja keksittiin uusi valotustekniikka. Siitä tehtiin yrityksen sisäinen keksintöilmoitus, joka siirrettiin harkintajaksolle mahdollisesti patentoitavaksi. Valotustekniikalle kehitettiin prosessi, joka integroitiin laitteineen olemassa olevaan teippausprosessiin. Työssä suunniteltiin uusi teippauslaite valottimen kanssa korvaamaan vanhaa prosessia.

Uuden tekniikan myötä liimajäämien synty estetään ja vanha manuaalinen puhdistusprosessi voidaan poistaa, ja näin säästetään työaikaa noin 800 tuntia vuodessa. Laatu parannetaan poistamalla liimajäämät sahausprossista ja näin vähennetään hyvin elementtien turhaa hylkäämistä AVI:lla. Liiman leviämistä puhdistiloissa estetään tekemällä sahauskehukseen liimaton tartuntapinta. Kiekkojen rikkoutumisriski pienentyy, kun operaattoreiden puhdistilakäsineet eivät tahattomasti tartu teippikehykseen.

Kehyksiin liittyvien prosessien vaatima lattiatila puhdistilassa pienentyy yhdistämällä toimintoja, ja työ helpottuu. Teippikehyksen kiertoa menevä aika vähenee ja puhdistilassa oleva materiaalin tarve pienenee. Teippikehykset kestävät myös pidempään, kun niihin kohdistuvat voimat ja rasitukset pienenevät. Teippikehykset eivät enää altistu mekaaniselle kulutukselle puhdistuksessa eivätkä väänny puhdistuksen aikana.

Eri käyttötarkoituksiin olevat teippikehykset erottuvat helposti ja oikeita kehyksiä käytetään oikeisiin prosesseihin, ja taas estetään hyvien elementtien turhaa hylkäämistä. Teippikehyksien ruostumisongelma myös poistettiin. Kiekkojen rikkoutumisriskiä vähennettiin sahausprosessissa poistamalla teipin leikkaamisesta jäävät teippisoivot uusien teippikoneiden erilaisen rakenteen ansiosta. Uudet teippikoneet myös estävät kiekkojen rikkoutumista niiden vakuuomiominaisuuden avulla. Samalla vähennetään kiekkoille koituvaa ESD- vaurioitumisriskiä teipistä.

Uudella teipinvalotustekniikalla on jatkokehitysmahdollisuuksia useissa laitteissa, joilla voidaan potentiaalisesti pienentää kuluja merkittävästi. Lisävalotuksen mahdollisuus lisättiin valmiiksi insinööriyössä suunniteltuun uuteen laitteeseen. Työn päätyttyä projektia jatkettiin uuden teippikoneen yksityiskohtien suunnittelulla tavoitteena saattaa

uusi prosessi tuotantoon. Teippikoneeseen suunniteltu lisävalotuksen optio päätettiin heti ottaa käyttöön, ja sillä tullaan koneen valmistuttua tekemään kokeita, joiden tavoitteena on vähentää sahojen teräriikkoja merkittävästi ja näin tuottaa yritykselle merkittävää lisähyötyä. Hyöty koituisi säästyneiden varaosien, korjauskulujen ja vähentyneen hävikin ansiosta.

Tätä kirjoitettaessa valtaosa uuden teippikoneen osista on tilattu ja suunnittelutyö on edennyt pitkälle. Ennen kaikkien teippikoneiden uusimista uuteen malliin, protolaitteen on todistettava toimivuutensa tuotantoympäristössä, ja tässä työssä saadut erinomaiset koetulokset on todennettava. Tähän vaaditaan prosessin ja valotusparametrien hienosäätöä. Uuden optiikan toimivuus on myös todennettava, joskin se voidaan tarvittaessa jättää pois ja käyttää kokeissa onnistuneesti käytettyä menetelmää.

Tämän projektin osoittamiin laatukohteisiin ei ole olemassa mittareita, joilla laadun parantumista voitaisiin mitata. Teippikoneissa mahdollisesti syntyviä ESD- vaurioita ei ole tutkittu, eikä myöskään tunneta liiman leviämisen riskejä kunnolla. AVI:n hylkäämien hyvien elementtien määrää ei myöskään luonnollisesti tunneta. Tämän projektin laadun parannuksia ei siten voida mitata tehokkaasti ja varmistaa tulosten säilyvyyttä tulevaisuudessa. Projektin jatkokehitys voisi keskittyä uusien mittareiden kehittämiseen ja riskien kartoittamiseen.

Työn tavoitteissa onnistuttiin erinomaisesti ja liimajäämien poistamisen lisäksi projektista saatiin merkittävää lisähyötyä kaikkiin työvaiheisiin, joissa UV-teippiä käytetään. Projekti avasi mahdollisuuden käyttää valotusta erittäin pienessä tilassa rajatulla alueella vaikuttamatta teipin muihin ominaisuuksiin.

## Lähteet

- 1 Murata Electronics SCC1300. Verkkodokumentti. <<http://www.muratamems.fi/en/news/image-bank/products>>. Viitattu 25.3.2013.
- 2 Murata Electronics yleinen perehdytysohjelma uusille työntekijöille (2012). Verkkodokumentti. Ei saatavissa: sisäinen dokumentti. Viitattu 11.2.2013.
- 3 Development of Anti-static UV-tapes for Semiconductor Processing (2002). Verkkodokumentti. <[http://www.furukawa.co.jp/review/fr022/fr22\\_05.pdf](http://www.furukawa.co.jp/review/fr022/fr22_05.pdf)>. Viitattu 21.2.2013.
- 4 Ultraviolet. Verkkodokumentti. <<http://en.wikipedia.org/wiki/Ultraviolet>>. Viitattu 18.3.2013.
- 5 Murata Electronics MEMS perehdys uusille työntekijöille (2012). Verkkodokumentti. Ei saatavissa: sisäinen dokumentti. Viitattu 2.4.2013.
- 6 Fouassier, J.P. & Rabek, J.F. 1993. Radiation Curing in Polymer Science and Technology Volume 1 Fundamentals and Methods. Essex: Elsevier Science Publishers LTD.
- 7 Shur Michael S. & Zukauskas Arturas. 2003. UV Solid-State Light Emitters and Detectors. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- 8 Hooker, J.D. Lamptech. 2003. Verkkodokumentti. <<http://www.lamptech.co.uk/Documents/M3%20Spectra.htm>>. Päivitetty 25.8.2003. Viitattu 20.3.2013.
- 9 Murphy Douglas, B. 2001. Fundamentals of Light Microscopy and Electronic Imaging. Canada: Wiley-Liss Inc.
- 10 Kallemax. 2006. Black Light Bulb. Verkkodokumentti. <[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Black\\_light\\_bulb.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Black_light_bulb.jpg)>. Viitattu 20.3.2013.
- 11 Tylercat5. 2008. MV Lamp 175W. Verkkodokumentti. <[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:MV\\_Lamp\\_175\\_W.JPG](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:MV_Lamp_175_W.JPG)>. Viitattu 20.3.2013.
- 12 Phoseon Technology. 2013. Verkkodokumentti. <<http://www.phoseon.com/technology/led-uv-wavelength.htm>> Viitattu 18.3.2013.

- 13 MEMS Industry Group. 2013. Verkkodokumentti.  
<<http://www.memsindustrygroup.org/i4a/pages/index.cfm?pageid=3926>> Viitattu 3.4.2013.
- 14 National Highway Traffic Safety Administration. 2013. Verkkodokumentti.  
<[http://www.nhtsa.gov/Laws+&+Regulations/Electronic+Stability+Control+\(ESC\)](http://www.nhtsa.gov/Laws+&+Regulations/Electronic+Stability+Control+(ESC))> Viitattu 3.4.2013.
- 15 European Commission, Mobility and Transport. 2013. Verkkodokumentti.  
<[http://ec.europa.eu/transport/road\\_safety/specialist/knowledge/esave/esafety\\_measures\\_known\\_safety\\_effects/electronic\\_stability\\_control.htm](http://ec.europa.eu/transport/road_safety/specialist/knowledge/esave/esafety_measures_known_safety_effects/electronic_stability_control.htm)> Viitattu 5.4.2013.
- 16 Microelectromechanical systems. 2013. Verkkodokumentti.  
<[http://en.wikipedia.org/wiki/Microelectromechanical\\_systems](http://en.wikipedia.org/wiki/Microelectromechanical_systems)> Viitattu 3.4.2013.
- 17 Wafer (electronics). 2013. Verkkodokumentti.  
<[http://en.wikipedia.org/wiki/Silicon\\_wafer](http://en.wikipedia.org/wiki/Silicon_wafer)> Viitattu 3.4.2013.
- 18 Murata Electronics Oy. 2013. Verkkodokumentti.  
<<http://www.murataelectronics.fi/en/about-murata/murata-electronics-oy>> Viitattu 3.4.2013.
- 19 International Regulations. 2013. Verkkodokumentti.  
<<http://www.interregs.com/spotlight.php?id=84>> Viitattu 5.4.2013.
- 20 Nichia NSCU033A Datasheet. Verkkodokumentti.  
<<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/240024/NICHIA/NCSU033A.html>> Viitattu 10.4.2013.
- 21 SFS-EN ISO 13849-1. Koneturvallisuus. Turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmien osat. Osa 1: Yleiset suunnitteluperiaatteet. 2011. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 22 SFS-EN ISO 14121-1. Koneturvallisuus. Riskin arviointi. Osa 1: Periaatteet. 2010. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

