



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Annina Kopiloff

Kemikaalien riskianalyysi ja uusien lähtöaineiden soveltuvuus EL-näyttöjen loisteainekerroksen valmistukseen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Bio- ja kemiantekniikka

Insinöörityö

17.12.2019

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Annina Kopiloff Kemikaalien riskianalyysi ja uusien lähtöaineiden soveltuvuus EL-näyttöjen loisteainekerroksen valmistukseen 41 sivua + 1 liite 17.12.2019
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Bio- ja kemiantekniikka
Ammatillinen pääaine	Kemiantekniikka
Ohjaajat	Lehtori Eija Koriseva Manager, Production Technology; Mika Karhunen
<p>Tämä opinnäytetyö tehtiin Beneq Oy:lle, joka valmistaa atomikerroskasvatusmenetelmään (ALD) perustuvia pinnoituslaitteita sekä elektroluminesenssi- eli EL-näyttöjä.</p> <p>EL-näyttöjen valmistukseen käytetään useita kemikaaleja, joille yrityksellä on tällä hetkellä vain yksi hyväksytty toimittaja. Näiden yhden toimittajan kemikaalien saatavuudessa on esiintynyt ongelmia, jotka ovat uhanneet yrityksen tuotannon jatkuvuutta. Tämän työn tarkoituksena oli tunnistaa yrityksestä nämä yhden toimittajan riskikemikaalit sekä tehdä riskianalyysi mahdollisten saatavuusongelmien seurauksista. Lisäksi tavoitteena oli löytää kahdelle riskianalyysissä mukana olevalle kemikaalille uusi toimittaja ja testata näiden kemikaalien soveltuvuutta EL-näyttöjen valmistuksessa.</p> <p>Riskianalyysi tehtiin kvalitatiivisen tutkimusmenetelmän mukaisesti ja toteutettiin haastatellamalla yrityksen työntekijöitä. Riskianalyysissä tunnistettiin kahdeksan riskikohdetta sekä määriteltiin riskikohteille riskin toteutumisen todennäköisyydet ja vaikutukset. Lisäksi analyysissä pohdittiin riskeihin vaikuttavia tekijöitä ja riskien merkitystä arvioitiin riskimatriisin avulla.</p> <p>Kokeellisessa osuudessa kasvatettiin ALD-menetelmällä valoa luminoivia ZnS:Mn-ohutkalvoja uusilla lähtöaineilla (MnCl₂ ja ZnCl₂). Kasvatetuilta ohutkalvoilta mitattiin EL-näyttöjen käytön kannalta tärkeitä ominaisuuksia, kynnysjännitettä ja luminanssia käyttöjännitteellä. Lisäksi MnCl₂-testeissä määritettiin ohutkalvon Mn-pitoisuus aikavakiomittauksella. Saatuja mittaustuloksia verrattiin tuotantokäytössä olevilla kemikaaleilla kasvatettujen ZnS:Mn-kalvojen mittaustuloksiin.</p> <p>MnCl₂-testien tulokset näyttivät lupaavilta, mutta vaativat lisäkokeita, joilla kemikaalin soveltuvuus voidaan osoittaa. ZnCl₂-kokeiden tuloksille tehtiin t-testi, jonka avulla arvioitiin, onko nykyisen ja uuden kemikaalin välillä tilastollisesti merkitsevää eroa. Testistä saatiin yksi merkitsevyystasoa pienempi p-arvo, mutta tämän ei kuitenkaan katsottu olevan uuden kemikaalin käytön hylkäävä tekijä.</p>	
Avainsanat	riski, riskianalyysi, elektroluminesenssi, MnCl ₂ , ZnCl ₂

Author Title Number of Pages Date	Annina Kopiloff Risk analysis of Chemicals and Suitability of New Starting Materials for the Manufacture of EL Displays 41 pages + 1 appendices 17 December 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Biotechnology and Chemical Engineering
Professional Major	Chemical Engineering
Instructors	Eija Koriseva, Lecturer Mika Karhunen; Manager, Production Technology
<p>This thesis was done for Beneq Oy, which manufactures coating devices based on atomic layer deposition (ALD) and electroluminescent (EL) displays.</p> <p>EL displays are manufactured using a variety of chemicals for which the company currently has only one approved supplier. There have been problems with the availability of these single supplier chemicals which have threatened the continuity of the company's production. The purpose of this thesis was to identify these single supplier risk chemicals and to conduct a risk analysis of the consequences of potential availability problems. Another aim was to find a new supplier for the two chemicals involved in the risk analysis and to test the suitability of these chemicals for the manufacture of EL displays.</p> <p>The risk analysis was conducted according to a qualitative research method and was carried out by interviewing the company's employees. The risk analysis identified eight risk targets and identified the likelihood and impact of risk realization for the risk targets. In addition, the analysis considered the factors influencing the risks and assessed the significance of the risks using a risk matrix.</p> <p>In the experimental part, light-luminescent ZnS:Mn thin films were grown by the ALD method with new starting materials (MnCl_2 and ZnCl_2). Properties, threshold voltage and luminance at operating voltage, which are important for the operation of EL displays, were measured from grown thin films. In addition, in MnCl_2 tests, thin film Mn concentration was determined by time constant measurement. The results obtained were compared with those of ZnS:Mn films grown with in-process chemicals.</p> <p>The results of the MnCl_2 tests seemed promising but required repeat tests to demonstrate the suitability of the chemical. The results of the ZnCl_2 tests were subjected to a t-test to assess whether there was a statistically significant difference between the existing and the new chemical. One p-value below the significance level was obtained from the test, but this was not considered to be a disabling factor for the new chemical.</p>	
Keywords	risk, risk analysis, electroluminescence, MnCl_2 , ZnCl_2

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Hankintatoimen riskit	2
2.1	Riski	2
2.2	Riskien luokittelu	3
2.3	Riskilajit	4
3	Riskienhallinta	8
3.1	Riskien tunnistus	10
3.2	Riskianalyysi	10
3.3	Riskin merkityksen arviointi	11
3.4	Riskin käsittely	11
4	Riskianalyysi kohdeyritykselle	13
4.1	Toteutus	15
4.2	Tulokset	16
5	Elektroluminesenssinäytöt	18
5.1	ZnS:Mn EL-näyttöjen loisteaineena	21
5.2	ZnS:Mn-kalvon kasvatusta ALD-menetelmällä	22
5.3	ZnS:Mn-kalvon mangaanipitoisuus	24
6	Kokeellinen osuus	25
6.1	Testilasit	26
6.2	Mn-pitoisuuden aikavakiomittaus	27
6.3	Loistekerroksen kirkkausmittaus	29
7	Uuden mangaanikloridilähtöaineen testaukset	30
7.1	Kokeiden toteutus	31
7.2	Tulokset	32

7.3	Tulosten tarkastelu	33
8	Uuden sinkkikloridilähtöaineen testaukset	33
8.1	Koesuunnitelma	34
8.2	Kokeiden toteutus	34
8.3	Tulokset	35
8.4	Tulosten tarkastelu	35
9	Johtopäätökset ja jatkosuunnitelmat	37
10	Yhteenveto	38
	Lähteet	40
	Liitteet	
	Liite 1. Mangaanipitoisuus mittauspisteissä 1–5	

Lyhenteet

ACTFEL	Alternating current thin film electroluminescence. Käytetään lyhenteenä, kun puhutaan vaihtovirralla toimivista, ohutkalvoihin perustuvista elektroluminesenssinäytöistä.
ALD	Atomic Layer Deposition. Atomikerroskasvatus. Ohutkalvojen kasvatusmenetelmä.
ATO	Alumiinititaanioksidi. Käytetään ACTFEL-näytöissä eristeenä.
EL	Electroluminescence. Elektroluminesenssi.
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis. Vika- ja vaikutusanalyysi. Riskianalyysimenetelmä.
ITO	Indiumtinaoksidi. Käytetään ACTFEL-näytöissä johtimena.
MBE	Molecular beam epitaxy. Molekyylisuihkuepitaksia. Ohutkalvojen kasvatusmenetelmä.
MOCVD	Metalorganic chemical vapor deposition. Metallo-orgaaninen kemiallinen kaasufaasipinnoitus. Ohutkalvojen kasvatusmenetelmä.

1 Johdanto

Jokapäiväiseen elämään ja kaikkeen toimintaan liittyy erilaisia epävarmuustekijöitä, jotka johtavat erilaisiin riskeihin organisaatiossa. Nämä riskit voivat toteutuessaan uhata organisaation asettamien tavoitteiden saavuttamista. Riskienhallinnan tarkoituksena on tunnistaa ja hallita näitä riskitekijöitä ja varmistaa organisaation liiketoiminnan jatkuvuus. Riskienhallintaprosessi koostuu useista eri vaiheista, joista yksi on riskianalyysi. Riskianalyysin avulla tunnistetaan tiettyyn toimintaan liittyvät uhat, niiden toteutumisen todennäköisyydet ja riskin toteutumisesta aiheutuvien vahinkojen suuruudet.

Tämän insinööriyön toimeksiantaja on vuonna 2005 perustettu Beneq Oy, jonka teknologia perustuu Suomessa 1970-luvulla kehitettyyn ALD (Atomic Layer Deposition)- eli atomikerroskasvatusmenetelmään. ALD on ohutkalvojen kasvatusmenetelmä, jolla voidaan valmistaa nanometrien paksuisia kalvoja. Yrityksen liiketoiminta voidaan jakaa kahteen yksikköön: ALD-yksikköön ja Lumineq-näyttöjä valmistavaan yksikköön. ALD-yksikkö valmistaa pinnoituslaitteita ja tarjoaa pinnoituspalvelua ja pinnoitteiden kehityspalvelua. Tämä insinööriyö on tehty Lumineq-yksikölle, joka valmistaa elektroluminesenssinäyttöjä. Elektroluminesenssinäytöt eli EL-näytöt ovat lasille ohutkalvotekniikalla tehtyjä litteitä näyttöjä, jotka käyttävät valon muodostukseen elektroluminesenssi-ilmiötä. Beneq kehittää ja valmistaa perinteisten mustakeltaisten EL-näyttöjen lisäksi läpinäkyviä näyttöjä, joita voidaan esimerkiksi laminoida lasin sisään.

EL-näyttöjen valmistusprosessi koostuu useista eri vaiheista ja valmistuksessa käytetään useita kemikaaleja. Osalla käytetyistä kemikaaleista on tällä hetkellä vain yksi hyväksytty toimittaja, ja näiden kemikaalien saatavuudessa on ollut ongelmia. Saatavuusongelman seurauksena kemikaalit voivat aiheuttaa tuotannon keskeytymisriskin toteutumisen. Tämän insinööriyön tavoitteena on tunnistaa kohdeyrityksestä nämä riskikemikaalit ja tehdä riskianalyysi mahdollisen saatavuusongelman seurauksista. Lisäksi työn tavoitteena on löytää kahdelle riskianalyysissä mukana olevalle kemikaalille uusi toimittaja ja testata uuden toimittajan kemikaalin soveltuvuutta EL-näyttöjen valmistuksessa.

2 Hankintatoimen riskit

2.1 Riski

Riskillä tarkoitetaan yleiskielessä vaaraa tai uhkaa, joka liittyy onnettomuuden mahdollisuuteen. Siihen millaiseksi riski koetaan, liittyy kolme tekijää, jotka ovat tapahtumaan liittyvä epävarmuus, tapahtumaan liittyvät odotukset ja tapahtuman laajuus ja vakavuus. Riskin peruslähtökohtana voidaan pitää sitä, että tapahtumaan liittyy epävarmuutta eli tapahtuman seuraus tai tulos ei ole täysin ennalta tiedossa. Tapahtumaan liittyvät odotukset taas vaikuttavat siihen, millaiseksi riski ja mahdollisesti sen toteutuminen koetaan. Odotusten lisäksi tapahtuman laajuus ja merkityksellisyys sekä itselle että muille vaikuttavat riskin koettuun vakavuuteen. [1, s. 7–8.]

Riskin suuruutta voidaan arvioida esimerkiksi kokemusperäisesti tai laskennallisesti. Kun riskiä arvioidaan laskennallisesti, tapahtumiin liittyvät odotukset jätetään usein huomioida. Arvioinnissa huomioidaan tapahtumiin liittyvä epävarmuus (todennäköisyys) ja tapahtumien laajuus ja vakavuus (merkittävyys). Riski määritellään yleisesti muotoon

$$\text{Riski} = \text{Todennäköisyys} * \text{Vakavuus}.$$

Riskin laskennallisessa määrittelyssä voidaan todennäköisyys esimerkiksi ilmoittaa tilastojen pohjalta reaalitylukuna 0 ja 1:n väliltä ja vakavuus eurollisesti. Näiden lisäksi riskin todennäköisyyttä ja vakavuutta voidaan arvioida esimerkiksi arvoilla 1–5, jossa 1 on pienin arvo. Perinteisen määritelmän ongelma on kuitenkin se, että sen avulla riskejä ei voida selkeästi asettaa tärkeysjärjestykseen, sillä määritelmässä todennäköisyys ja merkittävyys ovat keskenään samanarvoisia. Esimerkiksi tapahtuman todennäköisyyden ollessa pieni (1) ja vakavuuden ollessa erittäin merkittävä (5) saa riski saman arvon kuin todennäköisyyden ollessa suuri (5) ja tapahtuman vakavuuden ollessa merkityksetön (1). Tällöin määritelmän avulla riskejä ei voi selkeästi asettaa tärkeysjärjestykseen sen mukaan, mihin riskiin tulisi ensisijaisesti varautua. [1, s. 7–9.]

Riskien arviointiin ja vertailemiseen on olemassa kehittyneempi laskentakaava, joka huomioi riskin merkittävyyden. Laskentakaava painottaa riskin merkittävyyttä, sillä

riskien hallintatyössä suurempi painoarvo on riskien seurausten vakavuudella kuin todennäköisyydellä. Kehittyneempi määritelmä riskille on seuraavanlainen:

$$\text{Riski} = \text{Todennäköisyys} * \text{Vakavuus}^2.$$

Tätä tuloa kutsutaan riskiarvoksi, jonka avulla voidaan selvittää, onko riski uhka yrityksen toiminnan jatkuvuudelle. Riskiarvot ovat keskenään vertailukelpoisia, ja niiden avulla voidaan osoittaa yritystoiminnan keskeisimmät uhat. [1, s. 11.]

Riskin arviointiin on olemassa myös muita tapoja, kuten esimerkiksi FMEA (Failure Mode and Effect Analysis), jonka lopputuloksena saadaan riskiluku (Risk Priority Number, RPN). Riskiluku muodostuu vakavuuden, esiintymistodennäköisyyden ja havaitsemisen tulosta. SFS-EN 31010 -standardissa on listattu yli 30 kappaletta eri työkalua ja tekniikkaa, joiden avulla riskejä voidaan arvioida. [2.]

2.2 Riskien luokittelu

Riskit voidaan jakaa karkeasti vakuutettaviin ja ei-vakuutettaviin riskeihin. Vakuutettavat riskit ovat luonteeltaan ennustettavia ja toistuvia. Niitä vastaan voidaan vakuuttaa ja siirtää riski vakuutusyhtiön kannettavaksi. Ei-vakuutettavat riskit ovat taas sellaisia tapahtumia, joita ei voida ennustaa. Vaikutukset voivat olla joko pysyviä tai tilapäisiä, mutta niitä varten ei voi ottaa vakuutusta. [1, s. 16; 3, s. 33–34.]

Vakuutettavia ja ei vakuutettavia riskejä voidaan kutsua myös staattisiksi ja dynaamiseksi riskeiksi. Staattiset riskit ovat yrityksen tai yksilön tahdosta riippumattomia, suhteellisen muuttumattomia riskejä (esimerkiksi paloriski). Niiden toteutuminen ei hyödytä ketään, vaan niistä seuraa pelkästään menetyksiä. Staattiset riskit ovat luonteeltaan toistuvia riskejä, joiden toteutumisen todennäköisyys on arvioitavissa. Dynaamiset riskit taas muuttuvat herkästi olosuhteiden ja suhdanteiden mukaan (esimerkiksi hintojen vaihtelu). Ne kohdistuvat tavoitteeseen, jonka savuttamisessa voi tapahtua odottamattomia asioita. [1, s. 16; 3, s. 33–34.]

Riskit jaetaan kirjallisuudessa usein vahinkoriskeihin (joihin voi varautua vakuuttamalla) ja liikeriskeihin (joihin ei voi varautua vakuuttamalla). Vahinkoriskit aiheuttavat toteutuessaan aineellista vahinkoa yrityksen tuotantotekijöille, ja niiden kirjo on laaja. Vahinkoriskejä voidaan jakaa useisiin eri ryhmiin, kuten kuljetusriskeihin, vuotoriskeihin ja rikkoutumisriskeihin. Kuten staattisiin riskeihin, myös vahinkoriskeihin liittyy vain menetyksen mahdollisuus. Liikeriskit ovat markkinointiin, kustannuksiin, kysyntään, tuotantoon ja henkilöstöön liittyviä riskejä. Liikeriskit ovat osa yritystoimintaa, sillä onnistuminen riskinotossa tuottaa voittoa ja epäonnistuminen taas menetyksiä. Ne ovat siis tietoisesti otettuja riskejä, joilla voidaan saavuttaa liikevoittoa. Liikeriskit ovat luonteeltaan nopeasti muuttuvia, joten niiden määrittely ei ole koskaan täysin kattava. [1, s. 16; 4.]

2.3 Riskilajit

Riskien luonteen lisäksi riskit voidaan jaotella myös sen mukaan, mihin yrityksen toimintoihin ne voivat vaikuttaa. Tälläisen jaottelun mukaan riskit jaotellaan ns. riskilajeihin. Riskien jaottelu tiettyyn riskilajiin ei kuitenkaan ole täysin täsmällistä, sillä joidenkin riskien voidaan katsoa kuuluvan useampaan eri riskilajiin. [5.]

Erilaisia riskejä on olemassa paljon, ja kirjallisuudessa riskejä on luokiteltu sekä lajiteltu monella eri tavalla. Tässä luvussa käsitellään hankintoihin liittyviä riskejä Virolaisen ja Tuomisen [3, s. 223] jaottelun mukaisesti:

- keskeytysriski
- hintariski
- laaturiski
- teknologiariski
- varasto- ja aikatauluriski
- saatavuusriski
- konfiguraatoriski
- valuuttariski.

Yritys voi käyttää tuotteen hankinnassa joko usean toimittajan strategiaa tai yhden toimittajan strategiaa. Lisäksi yhden toimittajan strategia voi olla ns. partnership-tyyppinen

strategia, jossa ostajan ja myyjän välillä on sopimus yhteistyöstä ja pitkäaikaisesta sitoutumisesta. Tällöin yhteistyösuhde edellyttää tiedon, riskin ja tulosten jakamista. Strategian valinta voi riskityypistä riippuen joko pienentää tai kasvattaa riskin toteutumisen mahdollisuutta. Keskeytys- ja hintariskiä pienentää usean toimittajan strategia, kun taas laatu-, saatavuus-, konfiguraatio- ja varasto- ja aikatauluriskiä voidaan pienentää yhden toimittajan ja partnership-tyyppisellä strategialla. [6, s. 164–166.]

Keskeytysriski

Toiminnan keskeytyminen on yksi merkittävimmistä yritystoiminnan uhista. Useimmiten keskeytys aiheutuu yrityksen omaisuutta tai yrityksen avainhenkilöä kohdanneesta vahingosta, joka voi keskeyttää toiminnan pitkäksi aikaa. Keskeytyminen voi tapahtua, vaikka omaisuus- tai henkilöriski ei toteutuisikaan omassa yrityksessä. Yritys voi olla riippuvainen ulkoisista toimijoista, kuten tavarantoimittajista, asiakkaista ja alihankkijoista. Tällöin toiminnan keskeytymisen voi aiheuttaa ns. riippuvuusriskin toteutuminen. Esimerkiksi tavarantoimittajaa kohdannut konkurssi, tulipalo tai joku muu luonnonkatastrofi voi katkaista tavaran toimitukset, jolloin ostajan tuotanto voi keskeytyä. Keskeytyminen voi aiheuttaa taloudellisia menetyksiä, kun tuotetta ei saada tuotettua. Pahimmassa tapauksessa keskeytymisestä aiheutuvat toimitusongelmat voivat aiheuttaa tärkeiden asiakassuhteiden menetyksiä. [1, s. 93–97.]

Keskeytysriskiä voi lähestyä useilla eri tavoilla. Toimittajan huolellinen arviointi paljastaa sen taloudellisen vakavaraisuuden, voimavarat ja mahdolliset riskitekijät. Tämän avulla voidaan selvittää tavarantoimittajan kyvykkyys toimia pitkällä tähtäimellä. Arvioinnin tulee sisältää toimittajan riskienhallintamenetelmien ja vakuutuspolitiikan kartoittamisen. On tärkeää, että myös toimittajilla on ennaltaehkäiseviä riskienhallintamenetelmiä sekä suunnitelma siitä, miten toimittaja toimii mahdollisissa poikkeustilanteissa. Yritys voi myös suojautua keskeytysriskeiltä käyttämällä usean toimittajan strategiaa. Usean toimittajan strategialla keskeytysriskiä voidaan pienentää, mutta ei kuitenkaan täysin poistaa. [6, s. 166–167.]

Hintariski

Hintariskeille altistuvat melkein kaikki yritykset, sillä käytettyjen hyödykkeiden hinta vaihtelee muuttuvissa kilpailutilanteissa ja taloudellisessa ympäristössä. Kansainvälisillä markkinoilla hinta vaihtelee kysynnän ja tarjonnan mukaan. [6, s. 167–168.]

Hintariskin merkitys korostuu yhden toimittajan strategialla, sillä toimittaja saa tällöin monopolisen aseman hinnan määrittämisessä. Perinteisesti ostaja kilpailuttaa useita toimittajia saadakseen hankintahinnan mahdollisimman alhaiseksi. Yhden toimittajan strategialla ylläpidetään myös toimittajan vaihtamisuhkaa. Kuitenkin partnership-tyyppisen suhteen voidaan katsoa olevan kokonaishankintahintaa alentava tekijä, sillä yleensä tällaiset suhteet lisäävät toimitustäsmällisyyttä ja laatua, jolloin kustannustehokkuus lisääntyy. [6, s. 167–168.]

Laaturiski

Laaturiski on tuotteen tai palvelun laatuun liittyvä riski. Toimittajan tulee pystyä tarjoamaan tuotteissaan, palveluissaan ja toiminnassaan riittävän korkeaa laatua, jotta ostava yritys voi palvella omia asiakkaitaan. Korkean laadun saavuttaminen vaatii yleensä tiivistä yhteistyötä toimittajan ja ostajan välillä jo tuotekehitysvaiheesta lähtien. Tämän takia yhden toimittajan käyttö vähentää riskin toteutumista verrattuna useiden toimittajien käyttöön. [6, s. 170–171.]

Partnership-tyyppisen strategian katsotaan parantavan laatua, sillä toimittajan valintaprosessissa kiinnitetään huomiota toimittajan kokonaislaatuun. Tämä karsii epäpätevät toimittajat pois ja pakottaa toimittajan kehittämään tuotteensa ja toimintonsa laatua. [6, s. 170–171.]

Teknologiariski

Hankintatoimen teknologiariski koskee lähinnä high tech -toimialueita, joissa tuotteiden elinkaaret ovat lyhyet ja tietyille teknologia-alueille on mahdollista päästä vain toimittajan kautta. Jotta käyttöön saadaan uusin teknologia, se vaatii toimittajien vaihtamista aivan viime hetkillä. Tähän liittyy melkoinen riski, mutta se sisältää myös hyödyn mahdollisuuden. Toimittajaa valittaessa tärkein kriteeri on toimittajan kehityspotentiaalinen ja joustavuuden arvioiminen. [6, s. 169–170.]

Teknologiariski puoltaa sekä partnership-tyyppisen strategian että yhden toimittajan strategian rinnakkaiskäyttöä. Partnership-tyyppinen hankintasuhde mahdollistaa syvällisemmän pääsyn tiettyyn teknologiaan ja taas useamman toimittajan käyttö tarjoaa pintapuolisemman, mutta kuitenkin laajemman pääsyn eri teknologioihin. [6, s. 169–170.]

Varasto- ja aikatauluriski

Varasto- ja aikatauluriski liittyvät organisaation tapaan ohjata varastojaan ja sisään tulevaa materiaalivirtaa. Nämä riskit ovat toteutuessaan saman kaltaisia kuin keskeytysriskit, mutta ne johtuvat organisaation omasta toiminnasta tai sen valitsemasta toimintalinjasta. Materiaalihallinta on nykyisin tärkeä kilpailutekijä. Sen peruskysymyksiä ovat, kuinka yritys voi taata, että toimittaja toimittaa oikean määrän tuotetta oikeaan paikkaan ja oikeaan aikaan sekä miten yritys voi alentaa toimitusten aiheuttamia kustannuksia ja lyhentää toimitusaikoja. [6, s. 168–169.]

Tehokas varastojen ja materiaalivirtojen ohjaaminen tukee yhden toimittajan käyttöä. Partnership-tyyppinen hankintasuhde mahdollistaa usein toistuvat kuljetukset ja pienet täydennyserät. Lisäksi informaation vaihto yhteistyökumppaneiden kesken on helpompaa ja tarjoaa useita etuja sekä aikataulujen että muun suunnittelun kannalta. Toimitusketjun tiiviillä yhteistyöllä ja informaation vaihdolla voidaan näitä riskejä hallita. [6, s. 168–169.]

Saatavuusriski

Joidenkin tuotteiden saatavuuteen voi liittyä korkea riski. Näitä tuotteita voi olla ns. pullonkaulat tuotteet tai ns. strategiset tuotteet. Pullonkaulat tuotteille on tyypillistä niiden vaikea saatavuus ja pieni hankintavolyymi. Loppuessaan ne voivat kuitenkin aiheuttaa tuotannon keskeytymisen ja sitä kautta merkittävät kustannukset tai tulojen menetyksen. Pullonkaulat tuotteiden saatavuusriskiä voidaan estää partnership-tyyppisellä toimittajasuhteella sekä tuotteen varmuusvarastoinnilla. [6, s. 171–172.]

Strategiset tuotteet ovat sellaisia tuotteita, joissa ostaja on toimittajalle merkittävä asiakas ja myyjän toimittama tuote on taas ostajan lopputuotteen kannalta merkitsevä. Tällöin ostajan ja myyjän vaikutusvalta tasoittuu, sillä molemmat ovat toisilleen tärkeitä

kumppaneita. Kuten pullonkaulatuotteita, myös strategisia tuotteita voi olla ajoittain vaikea saada tai ainakin vaihtoehtoisista tuotteista on pulaa. Tällöin saatavuusriskin välttämiseksi ostajan on luotava pitkäaikainen yhteistyösuhde tuotteen toimittajaan. [6, s. 171–172.]

Konfiguraatoriski

Konfiguraatiolla tarkoitetaan oikeaa kokonaishankintaa ja oikeaa laadun määrittystä. Fyysisen tuotteen lisäksi sen teknisen laadun ja ominaisuuksien tulee vastata ostajan tarpeita sekä edelleen loppuasiakkaan tarpeita. Tämän takia konfiguraatoriskin hallinta on hankintatoimelle hankalaa. [6, s. 172.]

Konfiguraatoriski voi toteutua, kun toimittaja valmistaa tai toimittaa tavaran suunnittelun tai erittelyn perusteella, mutta tuote ei kuitenkaan vastaa ostajan tarpeita. Tämä voi johtua siitä, että ostaja ei ole kertonut kaikkea suunnitteluun liittyvää tietoa. Lisäksi riski suurenee, jos tuote on monimutkainen ja sillä on kireä suunnitteluajataulu. [6, s. 172.]

Valuuttariski

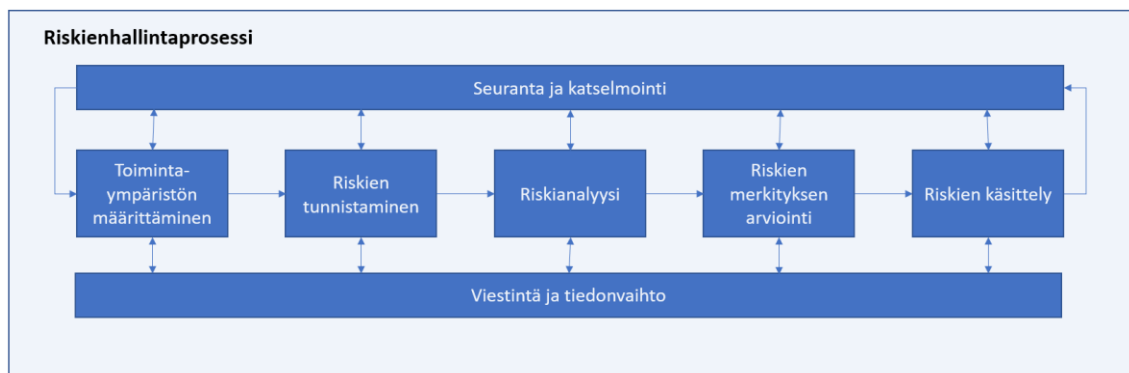
Valuuttariski syntyy, kun kauppaa tehdään vieraassa valuutassa. Sen aiheuttaa valuuttojen keskinäisten hintojen vaihtelun mahdollisuus eli valuuttakurssien muutokset [7, s. 69]. Raaka-aineiden ostossa valuuttariski voi tapahtua, kun sopimus tehdään vieraan maan valuutassa, jolloin ostaja on sidottu hankintahintaan [6, s. 173]. Valuuttojen keskinäisten hintojen muuttuessa ostajan hankintahinta voi tulla reilusti kalliimmaksi.

3 Riskienhallinta

Riskienhallinta on prosessi, jonka avulla voidaan yritystä uhkaavia riskejä torjua ja niistä aiheutuvia menetyksiä minimoida. Sen tarkoituksena on pitää riskit sellaisissa rajoissa, että ne eivät uhkaa organisaation toimintaa ja organisaation tavoitteet toteutuvat. Riskienhallinnalla pyritään siis vaikuttamaan tapahtuman todennäköisyyteen ja seurauksen suuruuteen. Hyvä riskienhallinta on suunniteltua, järjestelmällistä, ennakoivaa ja tietoista

toimintaa. Sen tulisi olla osana sekä organisaation päivittäistä toimintaa että johtamista ja päätöksentekoa. [7, s. 27; 8.]

Riskienhallintaprosessi (kuva 1) alkaa toimintaympäristön määrittämisellä, jonka tarkoituksena on räätälöidä prosessi organisaatiolle sopivaksi. Prosessi voidaan toteuttaa suppeana tai laajennettuna ajattelu- tai toimintatapana riippuen siitä, millaiset riskit saateen prosessin piiriin. Lisäksi määritellään kriteerit eli organisaation tulee päättää, minkä tyyppisiä ja kuinka paljon riskejä se voi ottaa. Määrittelyn jälkeen riskienhallintaprosessi jatkuu riskien tunnistuksella ja arvioinnilla. Kun riskit on tunnistettu ja niiden merkitys arvioitu, suunnitellaan keinot, joilla riskejä voidaan hallita. Riskien tunnistuksesta, riskianalyysistä, riskien merkityksen arvioinnista ja riskien käsittelystä kerrotaan enemmän alakappaleissa 3.1–3.4. [9; 10.]



Kuva 1. Riskienhallintaprosessi [9.]

Riskienhallintaprosessi ei lopu riskien käsittelyyn, vaan se on jatkuva prosessi. Organisaatio saa suurimman hyödyn riskienhallinnasta, kun riskejä seurataan ja arvioidaan monta kertaa vuoden aikana. Todellisuudessa tilanteet muuttuvat usein ja niiden mukana muuttuvat riskitkin. [7, s. 30–31.]

Onnistunut riskienhallinta vaatii hyvää yhteistyötä eri sidosryhmien kanssa. Aktiivisella viestinnällä ja tiedonvaihdolla pystytään lisäämään tietoa riskeistä ja varmistamaan eri näkökohtien huomioonotto. Tällöin voidaan varmistaa, että riski tunnistetaan riittävän hyvin. [9.]

3.1 Riskien tunnistus

Riskien tunnistuksen tarkoituksena on löytää ja tunnistaa organisaation tavoitteita uhaavia riskejä. Riskien tunnistukseen sisältyy riskin syiden ja lähteiden sekä tapahtumien ja tilanteiden yksilöiminen. Käytännössä siis tarkasteltavaksi otetaan jokin riskilaji tai osa yrityksen toiminnasta. Kerralla voidaan tunnistaa esimerkiksi paloriskejä tai tiettyyn prosessiin liittyviä riskejä. [9, 10.]

Riskien tunnistaminen on ehkä kaikkein merkittävin vaihe riskienhallintaprosessissa, sillä ilman tunnistusta riskiä ei voida hallita. Riskien tunnistamisen apuna voidaan käyttää eri tunnistamismenetelmiä, kuten aivoriittä. Menetelmien tarkoituksena on parantaa tunnistamisen tarkkuutta ja kattavuutta. Menetelmät voivat sisältää esimerkiksi tarkistuslistojen ja historiatietojen läpikäyntiä, järjestelmällistä ryhmätyöskentelyä tai induktiivista päättelyä. [1, s. 25; 2.]

3.2 Riskianalyysi

Riskianalyysin tarkoituksena on määritellä tunnistetuille riskeille seuraukset ja seurausten tapahtumisen todennäköisyydet sekä tunnistaa näihin vaikuttavat tekijät. Riskikohteet käydään systemaattisesti läpi saatavissa olevan tiedon avulla. Tilastotietoa ei välttämättä ole aina saatavilla, jolloin riskejä voi arvioida ulkopuolinen tarkkailija tai mukaan voidaan tuoda näkökulma, jossa pohditaan riskeihin varautumista. Riskianalyysissä jokaiselle riskikohteelle määritellään suurin mahdollinen vahinko, jonka riski voi toteutessaan aiheuttaa. Sen avulla voidaan ottaa huomioon useita, luonteeltaan erilaisia, tekijöitä ja tarkastella yksityiskohtaisesti niiden välisiä riippuvuussuhteita. [1, s. 25–26; 7, s. 35–36.]

Riskianalyysimenetelmä voi olla kvalitatiivinen, kvantitatiivinen tai näiden sekoitus. Kvalitatiivisessa eli laadullisessa riskianalyysissä seurauksen, todennäköisyyden ja riskin taso määritellään kuvailevalla esityksellä. Esimerkiksi jonkin tapahtuman todennäköisyyksiä voidaan ilmaista sanoilla ”epätodennäköinen”, ”mahdollinen” ja ”todennäköinen”. Kvantitatiivisessa eli määrällisessä analyysissä taas seurauksille ja todennäköisyyksille arvioidaan käytännön arvot tilastojen pohjalta. Täysin määrällinen menetelmä ei ole aina

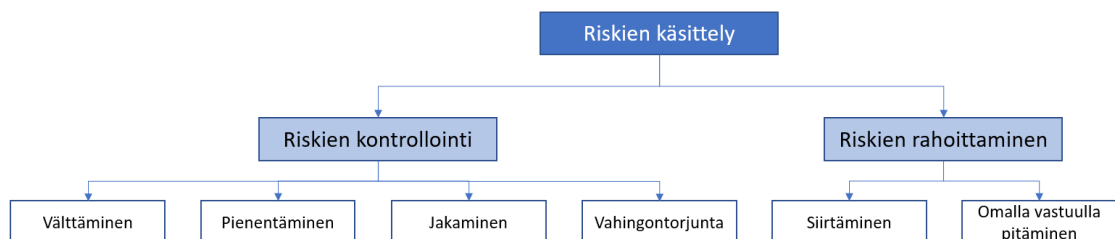
mahdollinen, sillä informaatio voi olla riittämätöntä tai tiedot puuttellisia. Menetelmä valitaankin käytettävissä olevan tiedon, tarkasteltavan kohteen ja asetetun tavoitteen perusteella. [2.]

3.3 Riskin merkityksen arviointi

Riskin merkitystä arvioidessa verrataan riskianalyysin tuloksia riskienhallinnan alussa määritettyihin riskikriteereihin. Merkityksen arvioinnin on tarkoitus tukea päätöksentekoa, kuten tarvitseeko riski käsittelyä, mikä on riskien käsittelyjen tärkeysjärjestys, ryhdytäänkö toimenpiteisiin riskin pienentämiseksi ja mitä keinoa riskin käsittelyyn tulisi käyttää. Päätökset riskin käsittelystä ja käsittelytavasta riippuvat kustannuksista ja hyödyistä. Jos riski on pieni ja toteutuessaan vahingon määrä on vähäinen, riskin ottamisen kustannukset voivat olla pienemmät kuin kyseisen riskin käsittelystä aiheutuvat kustannukset. Tällöin yritys voi päättää, että riski jätetään käsittelemättä. [2.]

3.4 Riskin käsittely

Riskien käsittelyssä valitaan ja toteutetaan riskikohtaisesti vaihtoehdot riskien käsittelyyn. Riskienhallintamenetelmät voidaan jakaa riskien kontrollointiin ja riskien rahoittamiseen (kuva 2). Kontrolloinnin ja rahoittamisen erona on se, että kontrolloinnissa huomio kohdistuu riskien syihin. Rahoittamisessa taas riskien seurausvaikutukset ovat avainasemassa. [2; 7, s. 99.]



Kuva 2. Riskien hallintamenetelmät [7, s. 99.]

Riskien kontrollointi

Riskien kontrollointiin kuuluu riskin välttäminen, pienentäminen, jakaminen ja vahingontorjunta. Riskin välttäminen on ensisijainen keino riskin hallitsemiseksi. Kun riskiä halutaan välttää, yritys pidättäytyy riskialtiiseen toimintaan, omaisuuteen ja henkilöön kohdistuvista toimista. Riskin välttäminen aiheuttaa kuitenkin organisaatiolle yleensä tulojen pienenemisen tai menojen kasvamisen. Riskin välttämisen äärimmäinen muoto on riskin poistaminen. Poistaminen tapahtuu vain poikkeustapauksissa ja sen edellytyksenä on, että riskin syy pystytään kokonaan poistamaan. Ainoastaan yksittäisissä tapauksissa, kuten luopumalla riskialtiin materiaalin käytöstä, riski voidaan poistaa kokonaan. Riskien poistaminen voi olla kallis riskienhallintamenetelmä, mutta se voi silti olla kannattava. [1, s. 34 ; 7, s. 101–102.]

Mikäli vakavia riskejä ei voida kokonaan poistaa, pyritään pienentämään riskien vahinkotapahtumien todennäköisyyksiä tai seurauksia. Riskejä on yleensä aina mahdollista pienentää, mutta se on kannattavaa vain tiettyyn rajaan asti. Mitä pienemmäksi riski saadaan, sitä suuremmat ovat kustannukset. Tästä johtuen pienien ja kohtalaisten riskien kohdalla on laskettava, onko riskin pienentäminen organisaatiolle kannattavaa. [1, s. 32 ; 7, s. 102–103.]

Riski voidaan myös jakaa lisäämällä itsenäisten riskikohteiden määrää. Esimerkiksi yritys voi valmistaa tuotettaan useissa eri paikoissa sijaitsevilla tehtailla. Tällöin yhden tehtaan keskeytymisestä aiheutuneet vahingot jäävät pienemmiksi, sillä yritys voi jatkaa tuotteen valmistusta muissa tehtaissa. Riskien jakaminen aiheuttaa organisaatiolle lisäkustannuksia, mutta se voi estää yrityksen täydellisen tuhoutumisen. [1, s. 34–35.]

Yksi merkittävimmistä riskienhallintamenetelmistä on vahingontorjunta, jolla pyritään joko kokonaan estämään vahingon syntyminen tai pienentämään riskin toteutumisesta aiheutuvia vahinkoja. Vahingontorjuntatoimet voidaan jakaa kolmeen osaan: vahinkoa ennalta ehkäisiviin toimiin, vahinkoa rajoittaviin toimiin ja jälkivahinkojen torjuntaan. Ehkäisevällä vahingontorjunnalla pyritään estämään riskin toteutuminen, ja siihen kuuluvat esimerkiksi kunnossapito ja rakenteellinen suojaus. Rajoittavalla vahingontorjunnalla pyritään rajoittamaan vahinkoja vahinkotapahtuman aikana. Esimerkiksi palomiehet pyrkivät rajoittamaan palon leviämistä tulipalon aikana, jotta vahingot eivät laajenisi.

Jälkivahinkojen torjunnalla yritetään pienentää vahingon seurauksena syntyviä vahinkoja. Jälkivahinkojen torjuntaa on esimerkiksi kosteuden aiheuttaman homehtumisen estäminen. Yrityksen vahingontorjunta voi vaikuttaa sen vakuutusmaksuihin, tai olla jopa ehtona vakuutuksen myöntämiselle. [1, s. 33–34.]

Riskien rahoittaminen

Riskien rahoitukseen kuuluu riskien siirtäminen ja omalla vastuulla pitäminen. Kun vahingon toteutuminen aiheuttaa organisaatiolle sietämättömän tilanteen, riskien siirtäminen on paikallaan. Riski voidaan siirtää sopimuksen perusteella toisen osapuolen kannettavaksi. Siirto voi tapahtua kahdella tavalla. Yritys voi siirtää riskejä sisältävää omaisuutta tai toimintojaan toisen yrityksen, esimerkiksi alihankkijan kannettavaksi. Tai se voi siirtää riskin ilman toimintojen ja omaisuuden siirtoa esimerkiksi vuokraamalla toimitalansa, jolloin vahinkoriskit siirtyvät vuokranantajalle. Näiden lisäksi riskin voi siirtää vakuuttamalla. Tällöin yritys poistaa itseltään joko kokonaan tai osittain taloudellisen menetyksen vaaran ja riski jää vakuutusyhtiön kannettavaksi. Se eroaa edellä mainituista siirtotavoista siten, että riski ja vahingon uhka jäävät yrityksen kannettavaksi. Vakuutusyhtiölle jää vahingon taloudelliset seuraukset. [1, s. 35–36 ; 7, s. 114–115.]

Riskien omalla vastuulla pitäminen vaatii yritykseltä riskinkantokykyä. Sitä suositellaan silloin, kun riskin todennäköisyys on kohtuullisen yleinen ja se aiheuttaa vain vähäisiä tappioita. Esimerkiksi pienet varkaudet ja rikkoutumiset voivat olla tämän tyyppisiä riskejä. Kun riskit jätetään tietoisesti itse kannettavaksi, taloudelliset syyt ovat tyypillisesti lähtökohtana. Jos riskiä halutaan käsitellä jollakin muulla menetelmällä, voi menetelmä tulla maksamaan yritykselle enemmän kuin itse vahinko. [1, s. 36–37; 6, s. 136.]

4 Riskianalyysi kohdeyritykselle

Riskianalyysi tehtiin Beneq Oy:n EL-näyttöjä valmistavalle Lumineq-yksikölle. Riskianalyysin tavoitteena on tunnistaa kohdeyrityksestä sellaiset kemikaalit, joilla on nykyisellään vain yksi hyväksytty toimittaja ja joiden katsottiin olevan potentiaalisia riskejä tuotannon keskeytymiselle. Koska käytettäviä kemikaaleja on useita, ei mukaan otettu sellaisia kemikaaleja, jotka ovat hyvin yleisiä ja saatavissa useilta eri toimittajilta.

Analyysissä mukana olevat kemikaalit ovat harvinaisempia kemikaaleja, joista tekee erityisen esimerkiksi niiden kemiallinen koostumus tai rakenteellinen muoto. Kemikaalin ominaisuudet tekevät niistä sopivia käytettyihin prosesseihin. Riskikemikaalien tunnistuksen lisäksi riskianalyysin tavoitteena on selvittää, millä todennäköisyydellä kemikaali voi vaikuttaa tuotannon jatkuvuuteen, kuinka suureen osaan tuotannosta kemikaali vaikuttaa ja kuinka suuri vaikutus kemikaalilla on tuotantoon.

Tuotannon keskeytymisen toteutumiseen vaikuttavia tekijöitä katsottiin olevan kemikaalin saatavuus ja laatu. Saatavuus sisältää toimittajista johtuvat ongelmat, kuten epävarmat ja pitkittyneet toimitusajat, sekä tuotteen erityislaatuisuudesta johtuvat ongelmat, kuten se, että kemikaalia ei valmista ja myy kuin yksi toimittaja. Myös kemikaalin vaihtelevan laadun katsottiin voivan aiheuttaa tuotannon keskeytymisen, sillä huonolaatuista erää ei voida käyttää tuotteen valmistukseen. Tällöin uuden erän saamiseen voi kulua aikaa ja myös uusi erä voi olla huonolaatuinen.

Riskianalyysi toteutettiin kvalitatiivisen tutkimusmenetelmän mukaisesti. Kvalitatiivisen tutkimuksen lähtökohtana on todellisen elämän kuvaaminen, ja siinä pyritään tutkittavan kohteen kokonaisvaltaiseen tutkimiseen. Lähtökohtana ei ole hypoteesi tai teoria, vaan todellisissa tilanteissa kootun aineiston monitahoinen ja yksityiskohtainen tarkastelu. Tutkittavan aineiston käsittelyyn käytetään induktiivista analyysia, jonka tarkoituksena on paljastaa aineistosta odottamattomia seikkoja. Tapaukset käsitellään ainutlaatuisina ja aineistoa tulkitaan sen mukaisesti. Aineisto kerätään ennalta määritetyltä kohdejoukolta, joka ei välttämättä ole kovin suuri, mutta aineiston laadun varmistamiseksi kohdejoukon yksilöitä tutkitaan perusteellisesti. [11, s. 157–160.]

Riskianalyysi päädyttiin tekemään kvalitatiivisen tutkimuksen mukaisesti, sillä tarpeeksi kattavaa tilastotietoa kvantitatiivista analyysia varten ei katsottu olevan saatavissa. Lisäksi yrityksen työntekijöiden kokemusperäisen tiedon todettiin olevan tärkeä osa analyysia. Tämä riskianalyysi ei ole yleispätevä tutkimus, vaan työ on ainutlaatuinen ja riskianalyysista on hyötyä nimenomaan työn toimeksiantajalle.

4.1 Toteutus

Aineiston keruun kohdejoukkona oli pieni joukko kohdeyrityksen työntekijöitä pääosin tuotanto- ja myyntitiimistä. Lisäksi tiedon keruussa käytettiin myös muita asiantuntijoita, kuten tutkijoita. Aineisto kerättiin yhteisessä palaverissa sekä kahdenkeskisillä keskusteluilla. Analyysiin haluttiin ottaa sekä tuotannon että oston näkökulma, jotta saatiin kokonaisvaltaisempi kuva riskien toteutumisen todennäköisyyksistä.

Riskianalyysi aloitettiin palaverilla, jonka tarkoituksena oli tunnistaa riskikohteet. Saatavuusriskin lisäksi esiin nousi tiettyihin kemikaaleihin liittyvä laaturiski, joka on aiheuttanut tuotannolle ongelmia. Palaveriin osallistui ennalta määrätty kohdejoukko, jonka kanssa riskikemikaaleja tunnistettiin. Riskien tunnistuksen lisäksi palaverissa käsiteltiin jokaisen kemikaalin osalta sitä, mikä riskin aiheuttaa. Näitä täydennettiin ja läpikäytiin vielä kahdenkeskisillä haastatteluilla ja sähköpostikeskusteluilla.

Riskikohteiden tunnistuksen jälkeen selvitettiin, mihin valmistusprosessin osaan kemikaalia käytetään. Tämä tehtiin siksi, että saatiin selville riskin toteutumisesta aiheutuvien vahinkojen vakavuus. Osaa kemikaaleista käytetään vain tietyn tuoteperheen valmistukseen, jolloin saatavuusriskin toteutuminen ei vaikuta koko tuotantoon. Tapahtuman vaikutusta kuvaamaan käytettiin termejä merkityksetön, vähäinen, kohtalainen ja merkittävä.

Seuraavaksi tunnistetuille riskeille määriteltiin riskin toteutumisen todennäköisyys. Todennäköisyydet määriteltiin haastatteleamalla sekä tuotantopäällikköä että myyntikoordinaattoria, joka hoitaa kemikaalien oston. Todennäköisyydet määriteltiin ensin erikseen heidän kokemuksiansa mukaan. Mukaan otettiin molemmat näkökulmat, sillä haluttiin nähdä, kokevatko he jonkin kemikaalin riskin todennäköisyyden eri tavalla. Tuotannon näkökulmasta haluttiin todennäköisyys, millä kemikaali voi aiheuttaa tuotannon keskeytymisen. Oston näkökulmasta haettiin taas sitä, onko tuotteen tilauksessa ja toimituksessa ollut ongelmia. Tämä tehtiin siksi, että parhaassa tapauksessa toimituksen viivästyminen ei ehdi vaikuttamaan tuotantoon esimerkiksi varastoitujen kemikaalien takia. Erikseen määriteltäviä todennäköisyyksiä verrattiin keskenään, mutta niissä ei kuitenkaan ollut suuria eroja. Tapahtuman todennäköisyyttä kuvattiin termeillä erittäin epätodennäköinen, epätodennäköinen, mahdollinen ja todennäköinen.

Riskien toteutumisen todennäköisyyksien ja vaikutuksien jälkeen riskien merkitystä arviointiin riskimatriisiin (taulukko 1) avulla. Riskimatriisin avulla riskin merkittävyyttä voidaan hahmottaa ja riskien suuruuksia verrata toisiinsa [12].

Taulukko 1. Riskimatriisi [12]

Tapahtuman vaikutus	Tapahtuman todennäköisyys			
	Erittäin epätodennäköinen	Epätodennäköinen	Mahdollinen	Todennäköinen
Merkityksetön	1	1	1	2
Vähäinen	1	1	2	3
Kohtalainen	1	2	3	4
Merkittävä	2	3	4	4

4	Riskin poistaminen välttämätöntä, toimenpiteet aloitettava heti.
3	Riskin vähentämisen toimenpiteet suunniteltava ja riskiä seurattava.
2	Toimenpiteitä ei välttämättä tarvita, riski vaatii seurantaa.
1	Akutteja toimenpiteitä riskin vähentämiseksi ei tarvita.

4.2 Tulokset

Riskianalysissä tunnistettiin riskikohteeksi kahdeksan eri kemikaalia. Riskikohteiden määrä on käytössä olevien kemikaalien määrään verrattuna pieni ja riskiarvioiden lukuarvot suuria, sillä riskianalysissä otettiin huomioon vain kohdejoukon mielestä kriittisimmät kemikaalit. Kemikaalit ja kemikaaleille määritetyt riskiarviot on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Riskikohteet ja riskiarviot

Riski	Riskiarviointi
Kemikaali 1	4
Kemikaali 2	4
Kemikaali 3	4
Kemikaali 4	4

Kemikaali 5	3
Kemikaali 6	3
Kemikaali 7	3
Kemikaali 8	2

Kemikaali 1. Kemikaalia käytetään jokaisessa tuotteessa. Sen kulutus on pieni, mutta se on tärkeä osa tuotteiden valmistuksessa. Riskin toteutumisen koettiin olevan todennäköinen johtuen pitkittyneistä toimitusajoista ja siitä, että toimittaja on ollut huonosti tavoitettavissa.

Kemikaali 2. Kemikaalia käytetään jokaisessa tuotteessa. Kemikaalin saatavuudessa on ollut ongelmia. Toimittajalla ei ole ollut tuotetta ja toimitusajat ovat pitkittyneet, joten riskin toteutuminen koettiin todennäköiseksi.

Kemikaali 3. Kemikaalia käytetään yhden tuoteperheen valmistukseen. Kemikaali ostetaan valmistajalta, joka ei myy kemikaaleja vaan pinnoiteteknologiaa. Riski siihen, että valmistavan yrityksen ostaa isompi yritys ja kemikaalin myyminen valmistajan ulkopuolelle lopetetaan, koettiin olevan suuri.

Kemikaali 4. Käytetään yhdessä tuoteperheessä. Kyseessä on erityinen kemikaali, jota valmistetaan yritykselle lisenssillä. Riski siihen, että valmistaja lopettaa, koettiin olevan suuri.

Kemikaali 5. Käytetään kaikissa tuotteissa. Kemikaali on ominaisuuksiltaan erityinen, mutta kunhan sen valmistusta ei lopeteta, voidaan sitä saada myös muilta toimittajilta.

Kemikaali 6. Kemikaalia käytetään kaikissa tuotteissa. Kemikaalin saatavuudessa on ollut haasteita. Lisäksi nykyistä kemikaalia joudutaan käsittelemään paljon ja osa siitä ei ole käyttökelpoista. Kuitenkin todennäköisyyden, että kemikaali keskeyttää tuotannon, katsottiin olevan pieni.

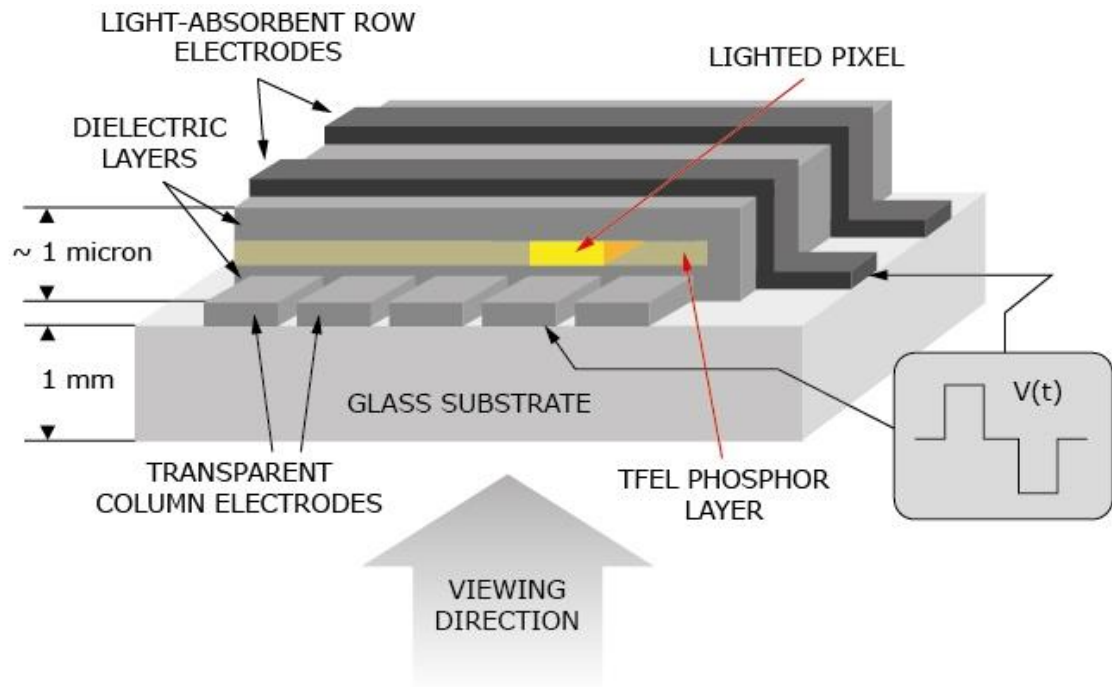
Kemikaali 7. Käytetään molemmissa tuoteperheissä, mutta toisen tuoteperheen valmistuksessa tämä voidaan korvata toisella kemikaalilla. Saatavuudessa ei ole ollut ongelmia, mutta kyseessä on ominaisuuksiltaan erityislaatuinen kemikaali, jolle ei tiedetä olevan toista valmistajaa.

Kemikaali 8. Käytetään yhdessä tuotepiheessä. Saatavuudessa ei ole ollut ongelmia, mutta kemikaalin laatu on vaihdellut ja aiheuttanut ongelmia tuotteiden valmistuksessa.

5 Elektroluminesenssinäytöt

Elektroluminesenssinäyttöjen eli EL-näyttöjen toiminta perustuu elektroluminesenssi-ilmiöön, jossa tietyt materiaalit emittoivat valoa sähkökentän vaikutuksesta. EL-näytöt voidaan ryhmitellä valoa luminoivan kerroksen mukaan (pulveri vai ohutkalvo) sekä käytettävän jännitteen mukaan (tasa- vai vaihtojännite) [13, s. 7]. Beneq valmistaa vaihtovirralla toimivia ohutkalvoelektroluminesenssinäyttöjä eli ACTFEL (alternating current thin film electroluminescence) -näyttöjä. ACTFEL-näyttöjen etuja ovat laaja käyttölämpötila-alue (jopa -60 – 105 °C), pitkä käyttöikä (yli 30 000 h), värinän ja pölyn kesto, laaja katselukulma sekä kirkkauden vähäinen himmentyminen. Tekniikkaa käytetään vaativissa olosuhteissa, joissa näytöltä vaaditaan hyvää kontrastia, kestävyyttä ja luotettavuutta, kuten esimerkiksi kuljetus- ja sotilassovelluksissa [14].

ACTFEL-näyttöjen rakenne (kuva 3) on suhteellisen yksinkertainen. Lasisen substraatin päälle kasvatetaan erilaisia ohutkalvokerroksia, joiden kokonaispaksuus on alle 2 μm . Keskimmäisenä kalvona on valoa emittoiva kerros, jonka molemmilla puolilla on eristekerros. Eristekerrosten tarkoituksena on suojella emittoivaa kerrosta ja rajoittaa sen läpi kulkevaa virtaa. Eristekerrosten molemmilla puolilla on johtavat kerrokset. Alempi johdin on yleensä läpinäkyvää indiumtinaoksidia ja ylempi johdin alumiinia. [15.]



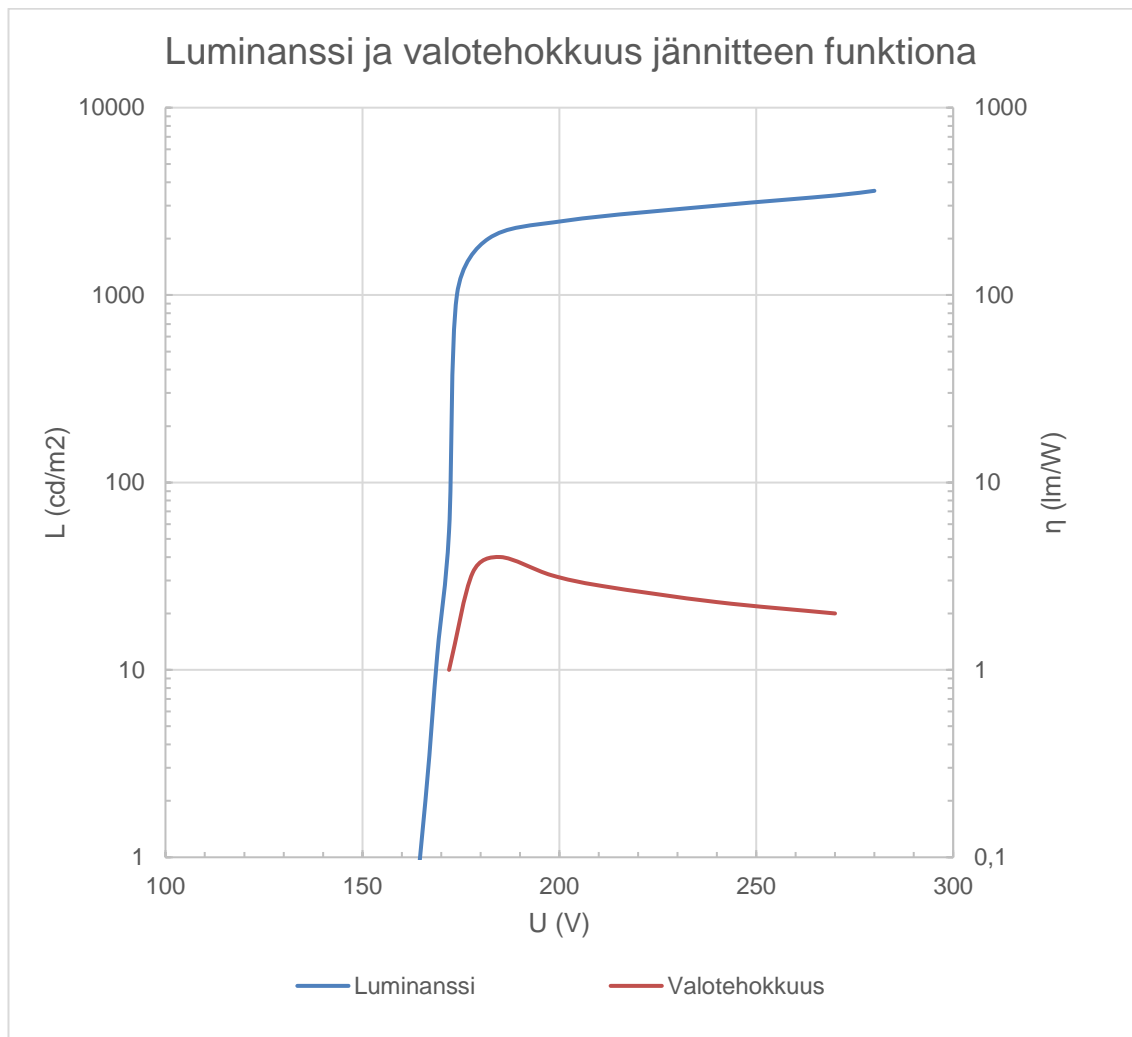
Kuva 3. ACTFEL-näytön rakenne [14]

Näytön yksi pikseli saadaan syttymään, kun alimmalle ja ylimmälle johtimelle tuodaan jännite, jolloin risteyskohdasta oleva loistekerros emittoi valoa. EL-emission mekanismi voidaan jakaa kuuteen vaiheeseen [16]:

- 1) Jännitteen ollessa tarpeeksi korkea elektroneja injektoiduu eriste- ja loistekerroksen välisestä rajapinnasta.
- 2) Injektoituneet elektronit kiihtyvät korkeassa sähkökentässä.
- 3) Korkeaenergiset elektronit törmäävät loistekerroksen luminesenssikeskuksiin ja virittävät ne.
- 4) Kun virittyneet luminesenssikeskukset palaavat perustilaansa, ylimääräinen energia purkautuu fotoneina.
- 5) Kuljettuaan loistekerroksen läpi elektronit jäävät loukkuun vastakkaiseen eriste- ja loistekerroksen väliseen rajapintaan.

6) Jännitteen polarisaation vaihtuessa sama tapahtuu toiseen suuntaan.

EL-näyttöjen tärkeitä ominaisuuksia ovat luminanssi (L), valotehokkuus (η), virrantiheys (I) ja siirretty varaus (ΔQ) [16]. Nämä kaikki ovat jännitteestä riippuvaisia ja ne esitetään jännitteen funktiona. Kuvassa 4 on esitetty tyypilliset L-U- ja η -U-käyrät ACTFEL-näytölle, jossa loisteaineena on käytetty mangaanilla seostettua sinkkisulfidia ($ZnS:Mn$).



Kuva 4. L-U- ja η -U-käyrä ACTFEL-näytölle, jossa on kaksi eristekerrosta, 0,65 μm :n paksuinen ZnS:Mn-ohutkalvo ja jota ajetaan sinimuotoisella jännitteellä (taajuus 1 kHz) [13, s. 10]

Kuvaajasta nähdään EL-näytön kynnysjännite, eli se jännite, milloin elektroneita alkaa injektoida rajapinnasta ja valoa alkaa emittoitumaan. Kynnysjännitteen yläpuolella ACTFEL-näytön kirkkaus nousee jyrkästi. Lopulta luminanssi saavuttaa korkeassa

jännitteessä kylläisen tilan, jolloin se ei enää kasva jännitteen kasvaessa. Samoin myös valotehokkuus kasvaa jännitteen kasvaessa ja on maksimissaan noin 185 V:n jännitteessä. Jännitteen noustessa tästä valotehokkuus laskee.

EL-näytöille stabiilius on erittäin tärkeää. Näytön kynnysjännite ei saa muuttua, L-U-käyrä ei saa loiventua eikä luminanssitaso laskea tuhansien käyttötuntien aikana. Muutoksia tapahtuu näytön toiminnan alussa, mutta sitten ne vakiintuvat. Tästä johtuen ACTFEL-näyttöjä vanhennetaan tietyn aikaa ennen niiden käyttöä [15]. Vanhennuksella tarkoitetaan sitä, että näyttöä kuormitetaan tietyllä taajuudella sinimuotoisella jännitteellä tietyn tuntimäärän ajan.

5.1 ZnS:Mn EL-näyttöjen loisteaineena

Keltaoranssia valoa emittoiva mangaanilla seostettu sinkkisulfidi (ZnS:Mn) on ACTFEL-näytöissä käytetyin ja tutkituin loisteainemateriaali. Sinkkisulfidia esiintyy kahtena eri kiderakenteena, kuutiomaisena sinkkivälkkeenä ja heksagonisena wurtsiittina. Sinkkisulfidikiteen kuutiomainen rakenne esiintyy alhaisissa lämpötiloissa. Rakenne muuttuu kuutiomaisesta rakenteesta heksagoniseksi korkeassa lämpötilassa (1020 °C). Kuitenkin ZnS-ohutkalvoa kasvatettaessa molempia rakenteita esiintyy suhteellisen alhaisissa prosessilämpötiloissa. Jo 400 °C:ssa heksagonisesta rakenteesta tulee hallitseva. Eri kiderakenteiden emissiospektrien huiput eroavat toisistaan: kuutiollisen rakenteen päästöhuippu on 585 nm ja heksagonisen rakenteen 580 nm. [15]

Loisteaineet koostuvat isäntämateriaalista, jota on seostettu aktivaattorilla. Aktivaattori toimii valoa emittoivana keskuksena eli luminesenssikeskuksena. Jotta EL-emissio saadaan syntymään, on sekä isäntämateriaalin että aktivaattorin täytettävä tietyt ehdot. [16.]

Isäntämateriaalin ensimmäinen vaatimus on, että sen energiavyön (engl. Band gap) on oltava riittävän suuri, jotta materiaali emittoi näkyvää valoa ilman absorptiota. Jos energiavyö on liian pieni, fotonin energia voi siirtyä isäntämateriaalin atomille ja fotoni häviää. Tämän lisäksi isäntämateriaalin tulee kestää voimakkaassa sähkökentässä hajoamatta ja sen hilarakenteen tulee hyväksyä sopiva aktivaattori. Vaatimukset täyttävät isäntämateriaalit ovat enimmäkseen suuren energiavyön omaavat ryhmien II ja VI yhdisteet (ZnSe, ZnS, SrS ja CaS), ternääriset sulfidit (CaGa_2S_4 ja SrGa_2S_4) ja jotkin oksidit

(ZnGa_2O_4 ja Ga_2O_3). Näistä materiaaleista sinkkisulfidi on käytetyin isäntämateriaali. [16; 17, s. 689.]

Aktivaattorit ovat tyypillisesti siirtymämetallien (Mn, Cr ja Cu) tai harvinaisten maametallien (Ce, Sm, Pr, Tm, Eu ja Tb) ioneita. Aktivaattorin tulee emittoida haluttua aallonpituutta, ja sen tulee olla vakaa voimakkaassa sähkökentässä. Lisäksi aktivaattorin poikileikkauksen tulee olla tarpeeksi suuri, jotta se saadaan viritettyä törmäävillä elektroneilla. [16; 17, s. 689–690.]

ZnS:Mn on osoittautunut kaikkein kirkkaimmaksi ($300\text{--}500\text{ cd/m}^2$) ja hyötysuhteiltaan parhaimmaksi loisteainemateriaaliksi. Tätä voidaan selittää sinkin ja mangaanin samankaltaisilla ominaisuuksilla: molemmilla on sama hapetusluku (+2) ja molempien ionisäteiden arvot ovat ZnS-hilassa lähes samat (Mn^{2+} : $0,80\text{ \AA}$ ja Zn^{2+} : $0,74\text{ \AA}$). Nämä yhteensopivuudet mahdollistavat kiinteiden liuosten muodostumisen ZnS-hilassa. Mangaani sijaitsee ZnS-hilassa sinkin hilapaikassa. [13, s. 83; 16.]

ZnS:Mn-kalvojen kasvatukseen on käytetty useita eri kalvonkasvatusmenetelmiä, kuten molekyyliisuihkuepitaksiaa (eng. Molecular beam epitaxy, MBE), sputterointia, metalloorganista kemiallista kaasufaasipinnoitusta (engl. Metalorganic chemical vapor deposition, MOCVD) ja atomikerroskasvatusta (ALD) [15]. Beneq käyttää ZnS:Mn-ohutkalvon kasvatukseen ALD-menetelmää.

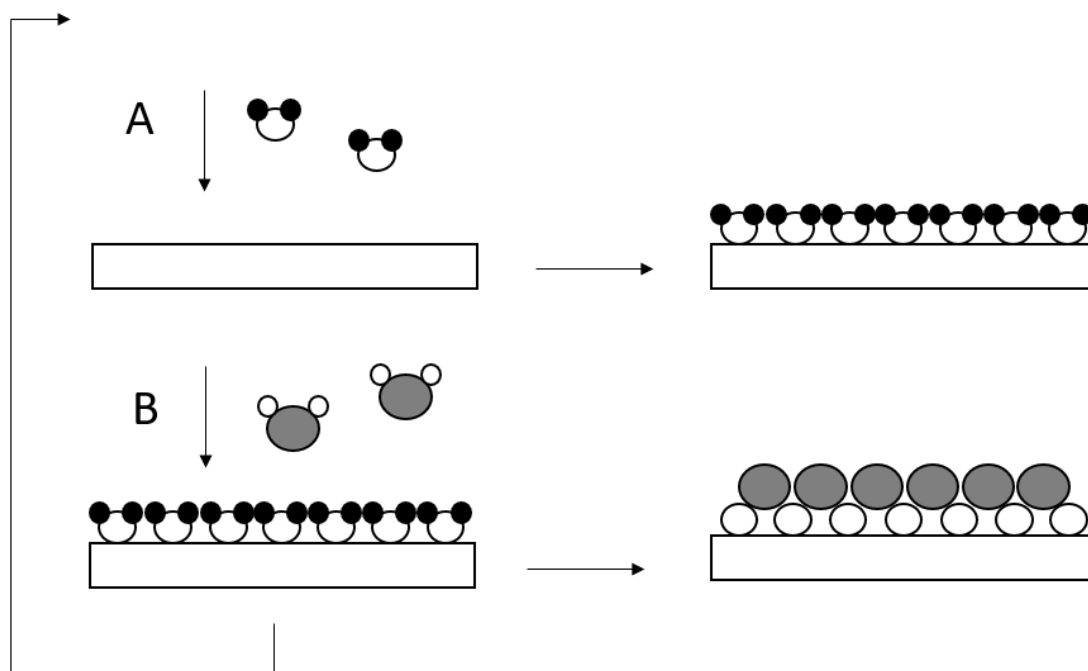
5.2 ZnS:Mn-kalvon kasvatus ALD-menetelmällä

ALD (Atomic Layer Deposition) on Suomessa 1970-luvulla kehitetty ohutkalvojen kasvatusmenetelmä, joka perustuu itsekiyllästyviin pintareaktioihin. ALD on alun perin kehitetty EL-näyttöjen luminoivan ZnS:Mn-kalvon ja eristeenä käytettävän alumiinioksidikalvon (Al_2O_3) valmistukseen. Tällöin menetelmää kutsuttiin atomikerrosepitaksiaksi (ALE, Atomic Layer Epitaxy). Myöhemmin menetelmän suomenkieliseksi nimeksi on vakiintunut atomikerroskasvatus ja englanninkieliseksi Atomic Layer Deposition (ALD). [18.]

ALD on kemiallisen kaasufaasipinnoituksen versio, jonka etuna on kalvon tasaisuus, reitättömyys ja materiaalikerroksen paksuuden säätökyky. Kalvon kasvu tapahtuu sykleittäin ja yhdellä syklillä kasvatetaan yksi molekyylikerros. Tästä johtuen kalvon paksuutta

voidaan tarkasti säädellä syklien lukumäärien avulla. Yksi kahden lähtöaineen sykli (kuva 5) käsittää neljä vaihetta: [19.]

- 1) Lähtöaine A johdetaan reaktoriin, jolloin se reagoi substraatin pinnan kanssa peittäen koko pinnan.
- 2) Reaktorista poistetaan ylimäärä lähtöainetta A ja mahdolliset reaktiotuotteet.
- 3) Lähtöainetta B johdetaan reaktoriin, jolloin se reagoi kohdassa 1) syntyneen pinnan kanssa muodostaen halutun kalvon.
- 4) Reaktorista poistetaan ylimääräinen lähtöaine ja reaktiotuotteet.

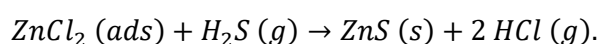


Kuva 5. Kaksi lähtöainetta ja reaktiovaihetta sisältävä ALD-sykli [19]

Lähtöaineet johdatetaan reaktoriin inertin kantajakaasun avulla. Kantajakaasun sekaan ruiskutetaan vuorottaisia lähtöainepulsseja, jotka eivät kuitenkaan sekoitu keskenään vaan reagoivat erikseen kasvatettavan pinnan kanssa. Lähtöainepulssien lisäksi kantajakaasua käytetään poistamaan lähtöaineen ylimäärä sekä syntyneet reaktiotuotteet. Tätä vaihetta kutsutaan myös välihuhteluksi. [20.]

ALD-prosessissa käytettävä lämpötila riippuu tapahtuvista reaktioista. Jokaisella prosessilla on oma lämpötila-alueensa, jonka ulkopuolella käytetyt lämpötilat johtavat hitaaseen kalvonkasvatusnopeuteen ja ALD-menetelmälle ei-typilliseen kerrostumiseen. Liian matalissa lämpötiloissa lähtöaine voi kondensoitua tai pinnan kanssa tapahtuva reaktio on hidaskasvu. Liian korkeissa lämpötiloissa lähtöaine voi taas hajota tai tapahtua nopea desorptio, jossa pintaan tarttuneet molekyylit irtoavat. Lämpötilan lisäksi käytettävien lähtöaineiden on oltava sopivia. Niiden täytyy olla helposti haihtuvia sekä reaktiivisia. Vaikka lähtöaineiden tulee olla reaktiivisia, niiden tulee kuitenkin pysähtyä yhteen kerrokseen, eli toisin sanoen niiden tulee olla itsestään pysähtyviä. [21.]

ZnS-ohutkalvo voidaan kasvattaa useista eri lähtöaineista, mutta tässä työssä ALD-prosessissa käytetään sinkkikloridia ($ZnCl_2$) ja rikkivetyä (H_2S). ZnS-kalvon ALD-kasvatus voidaan esittää reaktioyhtälön avulla:



EL-näytöissä käytettävä ZnS-ohutkalvo seostetaan mangaanilla. Seostus tapahtuu pulssittamalla samaan aikaan sinkkikloridin lisäksi mangaanikloridia ($MnCl_2$). Sinkkikloridin tarkoituksena on hillitä mangaanikloridin reaktiivisuutta ZnS-pinnan kanssa. Seostuksen jälkeen tulee vielä levitysvaihe, joka tapahtuu heti seostusvaiheen jälkeen ilman välivuuhdetta. Levitysvaiheessa reaktoriin pulssitetaan sinkkikloridia, joka irroittaa ohutkalvon etureunassa olevaa mangaaniyhdistettä. Irrotettu mangaaniyhdiste virtaa ohutkalvon yli ja kiinnittyy uudestaan kauempana etureunasta olevaan sinkkikloridikerrokseen. [22.]

5.3 ZnS:Mn-kalvon mangaanipitoisuus

ZnS:Mn-ohutkalvon mangaanipitoisuus vaikuttaa voimakkaasti ACTFEL-näytön luminesenssiin ja valotehokkuuteen. Maksimikirkkaus ja -valotehokkuus saavutetaan, kun mangaanin pitoisuus ohutkalvossa on noin 0,5 paino-%. Pienemmillä pitoisuuksilla kirkkaus ja hyötysuhde ovat matalia johtuen luminesenssikeskusten puutteesta. Kun optimipitoisuus ylitetään, kirkkaus ja hyötysuhde laskevat taas rajusti. Tämä johtuu siitä, että elektronit eivät pääse yhtä vapaasti liikkumaan rakenteessa. Toinen syy on se, että pitoisuuden kasvaessa virityneiden luminesenssikeskusten säteilytön

siirtymätodennäköisyys kasvaa. Säteilyttömät siirtymät ovat atomien tai ionien energiatasojen välisiä siirtymiä, joihin ei liity valon säteilyä. [13, s. 23.]

EL-näytöissä haasteena on saada mangaanipitoisuus samaksi ympäri substraattia. Jos pitoisuus vaihtelee rajusti, se vaikuttaa näytön kirkkausprofiiliin. Tällöin näytön kirkkaus ei ole kaikkialla sama, jolloin esimerkiksi EL-näytön toinen puoli voi olla kirkkaudeltaan matalampi kuin toinen puoli. Tasaisuutta pyritään kasvattamaan mangaanin levitysvaiheella.

6 Kokeellinen osuus

Kokeellinen osuus koostuu kahden uuden lähtöaineen, mangaanikloridin ja sinkkikloridin testauksesta EL-näyttöjen loisteainekerroksen valmistuksessa. Molemmat ovat riskianalyyseissä mukana olevia kemikaaleja, joihin liittyviä riskejä pyritään pienentämään löytämällä toiselta toimittajalla vaihtoehtoinen kemikaali. Tällöin mahdollisen saatavuusongelman seurauksena yrityksellä on toinen hyväksytty toimittaja, jolta tarvittavaa kemikaalia voidaan tilata. Tämän seurauksena riskin toteutuminen voidaan välttää ja tuotanto voi jatkua ilman keskeytyksiä. Testeissä kasvatettiin ZnS:Mn-ohutkalvoja testilaseille ALD-menetelmällä alaluvussa 5.2 esitetyllä tavalla.

Lähtöaineina kalvojen kasvatuksessa käytettiin $ZnCl_2$:a, $MnCl_2$:a ja H_2S :ä. Työssä käytettiin samoja kemikaaleja, joita yrityksessä käytetään EL-näyttöjen valmistuksessa. Näiden lisäksi kalvoja kasvatettiin uusilla $ZnCl_2$ - ja $MnCl_2$ -lähtöaineilla. Uusia kemikaaleja käytettiin testeissä erikseen, jotta tiettyyn kemikaaliin liittyvät laatuongelmat ovat helpommin havaittavissa. Tehtyjä testejä on havainnollistettu taulukossa 3.

Taulukko 3. Kasvatettujen kalvojen lukumäärä ja testeissä käytetyt lähtöaineet ja mittaukset

Testit	Kasvatettujen ohutkalvojen lkm	$MnCl_2$ -lähtöaine	$ZnCl_2$ -lähtöaine	Mittaukset
$MnCl_2$ -testit	2	Nykyinen toimittaja	Nykyinen toimittaja	Aikavakiomittaus (Mn-pitoisuus), kirkkausmittaus (kynnysjännite, kirkkaus)

	2	Uusi toimitaja	Nykyinen toimitaja	Aikavakiomittaus (Mn-pitoisuus), kirkkausmittaus (kynnysjännite, kirkkaus)
ZnCl ₂ -testit	6	Nykyinen toimitaja	Uusi toimitaja	Kirkkausmittaus (kynnysjännite, kirkkaus)

6.1 Testilasit

Testilasit ovat loistekerroksen laadunvalvonnassa käytettäviä ACTFEL-näyttöjä, joilta voidaan mitata näytön käytön kannalta tärkeitä ominaisuuksia, kuten loistekerroksen Mn-pitoisuutta, luminanssia ja kynnysjännitettä. Työssä käytetyt testilasit ovat indiumtinaoksidilla (ITO) päällystettyjä ja optisella litografialla kuvioituja substraatteja, joiden päälle kasvatetaan ALD-menetelmällä alumiinititaanioksidi (ATO) -eristekerrokset ja ZnS:Mn-ohutkalvo. Eristekerroksien ja loisteainekerroksen jälkeen testilasi päällystetään ja kuvioidaan alumiinilla (Al). Tässä työssä keskitytään vain loistekerrokseen, joten testilasien valmistusprosessia ei käydä tarkemmin läpi. Testilasien rakenne on esitetty kuvassa 6.



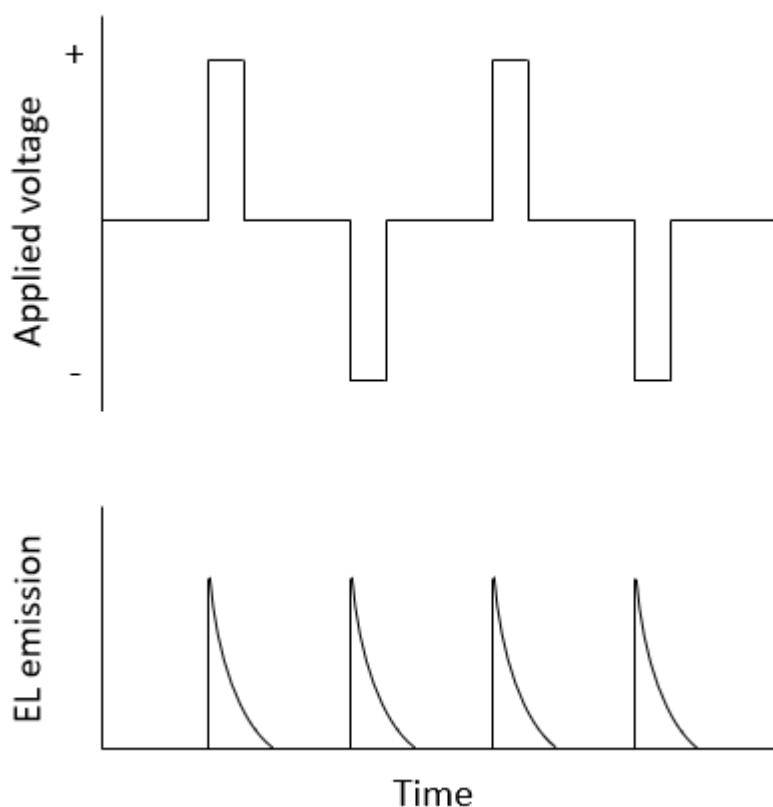
Kuva 6. Testilasien rakenne

ATO- ja ZnS:Mn-kerrokset kasvatetaan samassa ALD-reaktorin ajossa. Kun testien toteutuksissa puhutaan loistekerroksen kasvattamisesta, siihen sisältyy myös eristekerrosten kasvatusta. Eristekerroksen kasvatusta ei kuitenkaan testien toteutuksessa erikseen mainita.

6.2 Mn-pitoisuuden aikavakiomittaus

Mangaanipitoisuutta ZnS:Mn-kalvossa voidaan tutkia mittaamalla EL-emission aikavakioa, jolla tarkoitetaan virittyneen luminesenssikeskuksen viritystilan purkautumiseen kuluvaa aikaa. Optimimangaanipitoisuudella (0,5 paino-%) Mn-ionin aikavakioarvo (τ) on noin millisekunnin luokkaa. Aikavakio pienenee pitoisuuden kasvaessa suuremmaksi, johtuen Mn-ionien säteilyttömistä siirtymistä. Aikavakiomittausmenetelmä on nopea, edullinen ja yksinkertainen menetelmä, jolla voidaan analysoida sujuvasti isoja näyttemääriä. [23.]

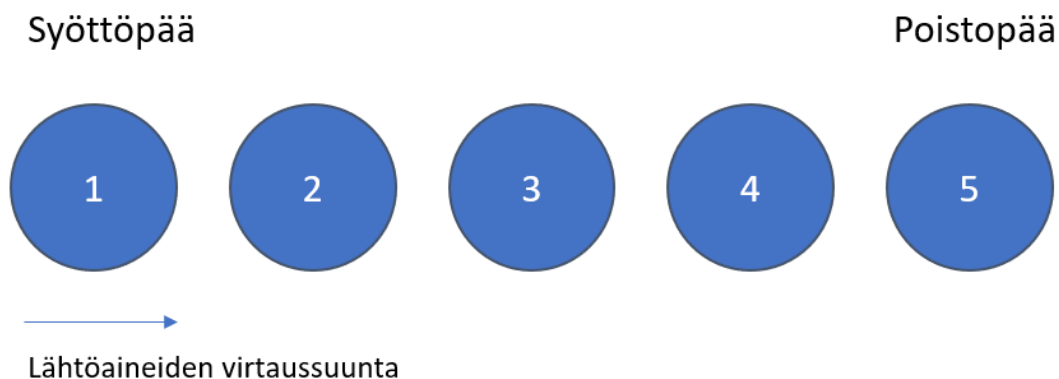
Työssä käytettiin Beneqin puhdastiloissa sijaitsevaa aikavakiomittauslaitteistoa. Mittaus tapahtuu asettamalla testilasi mittauslaitteistoon ja käynnistämällä mittausohjelma, jossa testilasiin syötetään 200 V:n vaihtojännitettä pulsseina. Vaihtojännitepulsseista syntyy EL-emission valopulssi (kuva 7), jonka intensiteettimaksimista emission sammumiseen kuluvaa aikaa laitteisto mittaa fotodiodilla.



Kuva 7. Ajojännitepulssien vaikutus EL-emissioon. [13, s.24]

Mittausohjelmaan on valmiiksi määritelty kutakin aikavakioarvoa vastaava Mn-pitoisuus, jolloin ohjelma antaa aikavakioarvon (ms) lisäksi Mn-pitoisuuden (paino-%). Ohjelma mittaa erikseen molempien polariteettien aikavakioarvot, jotka eroavat hieman toisistaan. Tuloksissa ollaan kuitenkin kiinnostuttu vain aikavakioiden keskiarvoista ja keskiarvoilla määritellyistä Mn-pitoisuuksista.

Laitteistossa on 15 fotiodia, jotka mittaavat aikavakiota eri substraatin pisteissä. Mittauspisteet on sijoitettu ympäri substraattia, jolloin nähdään mangaanin pitoisuusprofiili substraatissa. Tämän työn tuloksiin on otettu pitoisuudet pisteissä 1–5, joista piste 1 on ALD-reaktorin syöttöpään piste ja piste 5 on poistopään piste (kuva 8).



Kuva 8. Aikavakiomittauksen mittauspisteiden numerointi

6.3 Loistekerroksen kirkkausmittaus

EL-näyttöjen yksi tärkeimmistä ominaisuuksista on luminanssi, jota voidaan mitata kirkkausmittauslaitteistolla. Kirkkausmittauksessa testilasia ohjataan sinimuotoisella vaihtojännitteellä vakiotaaajuudella. Laitteisto nostaa hitaasti jännitettä ja jännitettä vastaava pinnan kirkkaus mitataan fotodiodilla. Tällä tavalla saadaan mitattua EL-näytön L-U-käyrä (kuva 4). Kuten aikavakiomittaus, myös kirkkausmittaus on yksinkertainen, edullinen ja nopea mittausmenetelmä, jolla saadaan selville EL-näytön kynnysjännite ja kirkkaus.

Kirkkausmittaukset tehtiin Beneqin puhdistilassa sijaitsevalla kirkkausmittauslaitteistolla. Testilasi asetetaan mittauslaitteistoon, jonka jälkeen mittausohjelma käynnistetään. Mittausohjelma kasvattaa jännitettä vähitellen ja fotodiodit mittaavat luminanssia. Fotodiodit mittaavat luminanssin 15 eri pisteestä, jotka on sijoitettu matriisimuotoon substraattilla. Näin EL-näytöstä saadaan kirkkausprofiili, josta nähdään eroaako kirkkaus merkittävästi substraatin eri kohdissa. Ohjelma luo EL-näytölle L-U-käyrän sekä ilmoittaa näytöstä erikseen seuraavat tiedot:

- Kynnysjännite (U_{th}). Kynnysjännite on se jännitteen arvo, jolloin mittapisteen luminanssi on $0,1 \text{ cd/m}^2$.

- Luminanssi käyttöjännitteellä (L_{40}). Luminanssi mitataan jännitteen arvolla, joka on $U_{th}+40$ V.
- Luminanssi maksimijännitteellä (L_{max}). Maksimijännitteenä käytetään 200 V.

Tämän työn tuloksissa käsitellään vain kahta ensimmäistä, sillä ne ovat merkittäviä EL-näytön käytettävyyden kannalta. Lisäksi tulokset ilmoitetaan mittapisteiden mittauksien keskiarvoina, sillä tuloksissa ei olla kiinnostuttu tietystä mittauspisteestä vaan jakauman keskimäärästä. Testeissä kuitenkin seurattiin kirkkausprofiilia, vaikka siitä ei tuloksissa erikseen mainita.

7 Uuden mangaanikloridilähtöaineen testaukset

Mangaanikloridin testauksia varten etsittiin eri toimittajilta yrityksen asettamia spesifikaatioita vastaavia mangaaniklorideja, joita löydettiin kaksi kappaletta. Valitettavasti toisen kemikaalin toimitusajan ollessa pitkä kokeiltiin tämän työn testeissä vain yhtä uutta mangaanikloridia lähtöaineena.

Testeissä kasvatettiin neljä ZnS:Mn-ohutkalvoa, joista kahdessa käytettiin tuotantokäytössä olevaa mangaanikloridia, joka toimi referenssikemikaalina ja kahdessa uutta mangaanikloridia. Molemmat käytetyistä mangaaniklorideista olivat kidevedettämiä, puhtaudeltaan 99,9-prosenttisia. Ennen testejä mangaaniklorideja vertailtiin visuaalisesti: muodoltaan ja raekooltaan kemikaalit vastasivat toisiaan. Ainoa ero huomattiin kemikaalien värissä: uusi kemikaali oli väriltään hieman himmeämpi.

Kasvatetuista loistekerroksista mitattiin Mn-pitoisuus aikavakiomittauksella sekä kynnysjännite ja luminanssi käyttöjännitteellä kirkkausmittauksella. Saatuja mittaustuloksia eri lähtöaineilla kasvatetuista ZnS:Mn-kalvoista verrattiin keskenään.

Tehtyjen testien tarkoituksena oli olla esitestejä, joissa pyrittiin minimoimaan ulkopuoliset vaihtelut ja vertaamaan kahden eri lähtöaineen eroa. Esitestien jälkeen oli tarkoitus tehdä lisätestejä uudella mangaanikloridilla, mutta tuotannollisista syistä lisätestejä ei tähän insinööriyöhön tehty.

7.1 Kokeiden toteutus

ZnS:Mn-kalvot kasvatettiin Beneqin puhdistilassa sijaitsevalla P400 ALD -reaktorilla. Kokeissa käytettiin samaa reaktoria ja reaktiokammioon menevää substraatinpidikettä. Näiden toimenpiteiden avulla olosuhteet saatiin pidettyä mahdollisimman samanlaisina, sillä jokaisella reaktorilla ja substraatinpidikkeellä on oma vaihtelunsa, joka näkyy esimerkiksi lähtöaineiden kulutuksessa sekä syöttö- ja poistopään Mn-pitoisuusprofiilissa.

Kokeissa tehtiin kaksi ALD-reaktorin ajoa, joista ensimmäisessä käytettiin tuotantokäytössä olevaa mangaanikloridia ja toisessa uutta mangaanikloridia. Molempiin ajoihin laitettiin kaksi johtimella päällystettyä testilasiasia ja ylimääräiset substraattipaikat täytettiin tyhjillä substraateilla, sillä kaasujen virtausten haluttiin menevän reaktorissa tasaisesti. Testilasit laitettiin molemmissa ALD-ajoissa samoihin substraattipaikkoihin, jolloin kahden eri ajon samassa substraattipaikassa olevat testilasit ovat vertailukelpoisia. Tällöin esimerkiksi ensimmäisen ajon substraatti 1 (REF₁) ja toisen ajon substraatti 1 (UUSI₁) ovat keskenään vertailukelpoiset. Testit ja testien nimeäminen on esitetty taulukossa 4. Taulukossa olevia lyhenteitä käytetään testien tuloksissa.

Taulukko 4. Testien nimeäminen

Lyhenne	Käytetty kemikaali	Substraatin nro.
REF ₁	Tuotantokäytössä oleva referenssikemikaali	1
REF ₂	Tuotantokäytössä oleva referenssikemikaali	2
UUSI ₁	Uusi Mn-lähtöaine	1
UUSI ₂	Uusi Mn-lähtöaine	2

Loistekerroksen kasvatuksen jälkeen testilasit päällystettiin alumiinilla, jotta valoa loistava kerros saatiin syttymään mittauksia varten. Tämän jälkeen testilaseille tehtiin sekä aikavakiomittaus että kirkkausmittaus. Mittausten jälkeen testilaseja vanhennettiin 23 tuntia ja mittaukset toistettiin.

7.2 Tulokset

Aikavakiomittauksesta saatiin polariteettiaikavakioiden keskiarvot (τ k.a) ja aikavakiokeskiarvoa vastaava mangaanipitoisuus (Mn paino-% k.a). Tulokset ovat erikseen sekä tuoreelle että vanhennetulle testilasille. Saadut tulokset ovat taulukossa 5.

Taulukko 5. Aikavakiomittauksen tulokset

	τ k.a tuore (ms)	τ k.a vanhennettu (ms)	Mn paino-% k.a tuore (%)	Mn paino-% k.a vanhennettu (%)
REF ₁	0,79	0,80	0,47	0,45
REF ₂	0,78	0,81	0,47	0,44
UUSI ₁	0,79	0,81	0,46	0,43
UUSI ₂	0,79	0,82	0,46	0,42

Saaduista tuloksista otettiin Mn-pitoisuudet pisteissä 1–5 ja luotiin kuvaajat, joissa x-akselilla on mittauspiste ja y-akselilla Mn-pitoisuus. Kuvaajat tehtiin siten, että ALD-reaktorin ajossa samalla substraattipaikalla olleiden testilasien tulokset laitettiin samaan kuvaajaan, jolloin nähdään eri lähtöaineiden ero tietyn mittauspisteen Mn-pitoisuudessa ja testilasien Mn-pitoisuuden profiilissa. Kuvaajat ovat liitteessä 1.

Kirkkausmittauksen tuloksissa on sekä tuoreen että vanhennetun testilasin kynnysjännitteet (U_{th}) ja luminanssit käyttöjännitteellä (L_{40}). Tulokset on koottu taulukkoon 6.

Taulukko 6. Kirkkausmittauksen tulokset

	U_{th} tuore (V)	L_{40} tuore (cd/m ²)	U_{th} vanhennettu (V)	L_{40} vanhennettu (cd/m ²)
REF ₁	176,7	528,1	150,8	425,8
REF ₂	178,4	523,6	152,5	432,1
UUSI ₁	177,6	510,7	152,2	424,7
UUSI ₂	179,2	492,0	153,9	424,5

7.3 Tulosten tarkastelu

Mitatut aikavakioiden keskiarvot olivat lähes samat molemmissa ajoissa. Vanhenne-
tuissa, samalla substraattipaikalla olleissa testilaseissa eroa uuden ja vanhan lähtöai-
neen välillä oli 0,01 ms. Tämä näkyy Mn-pitoisuudessa 0,02 paino-%:n erona. Kun kat-
sotaan Mn-pitoisuutta pisteissä 1–5, on pitoisuusero syöttö- ja poistopäässä eri. Syöttö-
pään pisteessä 1 pitoisuusero testien välillä oli vain noin 0,01 paino-% ja poistopään
pisteessä 5 korkeimmillaan 0,03 paino-%. Joissakin mittauspisteissä pitoisuuseroa ei ol-
lut ollenkaan. Erot ovat kuitenkin niin pieniä ja ne voidaan selittää eri ajojen vaihtelulla.
Lisäksi huomioon tulee ottaa mittauslaitteen mittausepävarmuus. Profiililtaan Mn-pitoi-
suus ei ollut testeissä tasainen. Liitteen 1 kuvaajista huomaa, että Mn-pitoisuus on syöt-
töpäässä korkeampi kuin poistopäässä. Tähän ei kuitenkaan testeissä puututtu, sillä ha-
luttiin vain kaksi vertailukelposta tulosta.

Kirkkausmittauksissa uudella Mn-lähtöaineella ajettujen testilasien kynnysjännite (U_{th}) oli
hieman korkeampi ja vastaavasti luminanssi käyttöjännitteellä (L_{40}) pienempi kuin refe-
renssinä ajettujen testilasien. Suurin ero oli substraattipaikalla 2 olleiden testilasien lu-
minansseissa: tuoreilla testilaseilla ero oli noin 32 cd/m^2 , mutta ero pieneni vanhennuk-
sessa. Vanhennuksen jälkeen testilasien välinen ero oli noin 8 cd/m^2 . Myös kirkkausmit-
tauksessa tulee ottaa huomioon mittalaitteiston mittausepävarmuus.

8 Uuden sinkkikloridilähtöaineen testaukset

Sinkkikloridin testejä varten etsittiin yrityksen asettamia spesifikaatioita vastaavia kemi-
kaaleja eri toimittajilta. Haasteita tuotti se, että kaikki valmistajat eivät ilmoittaneet kemi-
kaalin epäpuhtauksia tarpeeksi kattavasti tai sitten epäpuhtauksien pitoisuudet olivat
liian suuria. Testejä varten löydettiin kuitenkin yhdeltä valmistajalta sinkkikloridi, jonka
epäpuhtaudet valmistaja analysoi tarkasti. Epäpuhtaudet kuitenkin vaihtelevat paljon
eräkohtaisesti, joten testiin otettiin erä, jossa epäpuhtauksien pitoisuuksien ei katsottu
vaikuttavan prosessiin.

Testeissä käytetty uusi sinkkikloridi oli puhtaudeltaan 98 %. Nykyinen, tuotantokäytössä
oleva sinkkikloridi on puhtaudeltaan 99-prosenttista. Uuden ja nykyisen sinkkikloridin

suurimmat erot ovat kalium-, magnesium- ja natriumpitoisuuksissa. Nämä pitoisuudet olivat uudessa sinkkikloridissa korkeammat, mutta niiden ei katsottu aiheuttavan ongelmia loisteainekerroksen laadussa. Visuaalisesti uusi sinkkikloridi vastasi nykyistä sinkkikloridia.

Testeissä kasvatettiin kuusi ZnS:Mn-ohutkalvoa uudella sinkkikloridilähtöaineella. Kasvatetuista kalvoista mitattiin kirkkausmittauksella kynnysjännite ja luminanssi käyttöjännitteellä. Saatuja mittaustuloksia verrattiin saman ALD-reaktorin aiempiin tuloksiin. Aiemmissä ALD-reaktorin ajoissa loistekerroksen kasvatuksessa on käytetty nykyistä tuotantokäytössä olevaa sinkkikloridia.

8.1 Koesuunnitelma

Koesuunnitelman tavoitteena on selvittää uuden sinkkikloridilähtöaineen sopivuus nykyiseen ALD-prosessiin ilman prosessimuutoksia. Koesuunnitelmaan päätettiin ottaa kuusi keskenään samanlaista testiä, sillä sen katsottiin riittävän tulosten toistettavuuden todentamiseen. Tämän lisäksi yhdestä kemikaalipurkista riittää sinkkikloridia kuuteen ALD-ajoon, jolloin kemikaalia ei jää juurikaan yli.

Koesuunnitelmassa on ensimmäisenä niin sanottu esikoe, jonka tuloksien pohjalta on tarkoitus kartoittaa, kannattaako uuden Zn-lähtöaineen testejä jatkaa. Jos esitestin tulokset eivät vastaa nykyisellä kemikaalilla tehtyjä ajoja, ennen toistokokeita tulee tutkia, johtuvatko huonot tulokset uudesta Zn-lähtöaineesta vai vaikuttaako tuloksiin jokin muu ilmiö.

8.2 Kokeiden toteutus

ZnS:Mn-kalvot kasvatettiin Beneqin puhdistilassa sijaitsevalla P400 ALD -reaktorilla. Kokeissa käytettiin samaa ALD-reaktoria, jolloin testien tuloksiin ei tullut reaktoreiden välistä vaihtelua. Lisäksi testilasit sijaitsivat substraatinpidikkeessä jokaisessa testissä samassa kohdassa, jolloin ne ovat keskenään vertailukelpoiset. Myös nykyisellä kemikaaleilla ajettujen ALD-ajojen testilasit ovat sijainneet samassa kohdassa, jolloin uusia testilaseja voidaan verrata vanhojen ajojen tuloksiin.

Kokeet toteutettiin koesuunnitelman mukaisesti: uudella $ZnCl_2$ -lähtöaineella kasvatettiin testilaseille kuusi loisteainekerrosta kuudessa eri ALD-reaktorin ajossa. Testilasit päällystettiin ajojen jälkeen alumiinilla ja niille tehtiin tuoreeltaan kirkkausmittaus. Tämän jälkeen testilaseja vanhennettiin 23 tuntia ja kirkkausmittaus toistettiin. Jokainen ALD-ajo tehtiin erikseen ja testilasit mitattiin ennen seuraavaan ajoon siirtymistä, sillä uutta ajoa ei haluttu tehdä, jos tulokset olisivat olleet huonoja.

8.3 Tulokset

Kaikki koesuunnitelman mukaiset testit ja testilasien kirkkausmittaukset saatiin tehtyä. Mittaustuloksiin saatiin sekä tuoreelle että vanhennetulle lasille EL-näytön kynnysjännite (U_{th}) ja luminanssi käyttöjännitteellä (L_{40}). Saadut mittaustulokset on koottu taulukkoon 7.

Taulukko 7. Sinkkikloriditestien tulokset

Koe	U_{th} tuore (V)	L_{40} tuore (cd/m ²)	U_{th} vanhennettu (V)	L_{40} vanhennettu (cd/m ²)
1	175,5	503,0	148,2	407,3
2	175,4	484,7	151,0	419,7
3	171,7	478,3	146,2	387,0
4	178,0	474,6	151,3	367,9
5	174,8	483,6	149,3	387,7
6	174,7	487,0	149,3	393,5

8.4 Tulosten tarkastelu

Tuloksia varten kerättiin tiedot testeissä käytetyn ALD-reaktorin edellisten ajojen testilasien tuloksista, joissa on käytetty nykyistä sinkkikloridia. Tiedot otettiin 16 edellisen ajon testilasien kirkkausmittaustuloksista ja niiden pohjalta laskettiin sekä keskiarvot että varianssit (s^2) kynnysjännitteille ja luminansseille. Keskiarvot ja varianssit laskettiin myös sinkkikloriditestien tuloksille.

Saaduista ja kerätyistä tuloksista tehtiin ensin kahden otoksen varanssien vertailutesti, jonka tarkoituksena oli selvittää tulosten jatkokäsittelyä varten, ovatko eri lähtöaineilla tehtyjen testilasien varianssit likimain saman suuruiset. Testin nollahypoteesina on, että kahden otoksen varianssit ovat samat. Kaksisuuntaisen testin merkitsevyystasoksi valittiin 0,05. Varianssien alaindeksi kertoo otoksen: otoksessa 1 on käytetty uutta sinkkikloridia ja otoksessa 2 nykyistä sinkkikloridia. Vertailutestissä saadut p-arvot ovat kaikki suurempia kuin merkitsevyystaso, joten nollahypoteesia ei hylätä ja otosten keskihajontojen ero ei ole tilastollisesti merkitsevää.

Seuraavaksi mittaustuloksille tehtiin t-testi, jonka avulla tutkittiin, onko kahdella eri sinkkikloridilla valmistettujen EL-näyttöjen mittaustulosten odotusarvojen välillä tilastollisesti merkitsevää eroa. Testin tarkoituksena on siis selvittää, voidaanko tulosten ero selittää mittauserävarmuudella vai vaikuttaako uuden kemikaalin käyttö mittaustuloksiin. Testin nollahypoteesina on se, että odotusarvot ovat samat. Kaksisuuntaisen testin merkitsevyystasoksi valittiin 0,05. U_{th} tuorelle, U_{th} vanhennetulle ja L_{40} vanhennetulle p-arvoksi saatiin merkitsevyystasoa suurempi luku, joten nämä tukevat nollahypoteesia. L_{40} tuoreen p-arvo oli merkitsevyystasoa pienempi, mikä taas tukee sitä, että uuden ja nykyisen kemikaalin välillä on tilastollisesti merkitsevää eroa. Otoksista lasketut keskiarvot, varianssit ja tehtyjen testien p-arvot löytyvät taulukosta 8.

Taulukko 8. Otosten keskiarvot ja varianssit sekä tehtyjen testien p-arvot.

	Uusi lähtöaine		Nykyinen lähtöaine		F-testi (p-arvo)	t-testi (p-arvo)
	Keskiarvo	s ²	Keskiarvo	s ²		
U_{th} tuore (V)	175,0	4,09	173,9	3,31	0,68	0,25
L_{40} tuore (cd/m²)	485,2	96,57	504,6	234,21	0,33	0,01
U_{th} vanhennettu (V)	149,2	3,53	148,3	2,75	0,64	0,28
L_{40} vanhennettu (cd/m²)	393,9	321,48	397,7	287,79	0,79	0,65

9 Johtopäätökset ja jatkosuunnitelmat

Riskianalyysin avulla saatiin tunnistettua yrityksestä ne yhden toimittajan kemikaalit, joita yrityksessä pidettiin uhkana tuotannon jatkuvuudelle. Riskien toteutumisen todennäköisyyksien määrittelyssä otettiin huomioon sekä oston että tuotannon näkökulma, joka oli yhteneväinen. Kumpikaan osa organisaatiota ei pitänyt riskejä mitättöminä, ja molemmilla oli samanlainen käsitys riskeistä ja niiden todennäköisyyksistä. Tunnistettuja riskejä lähdettiin käsittelemään etsimällä kahdelle riskianalyysissa mukana olevalle kemikaalille, mangaanikloridille ja sinkkikloridille uudet toimittajat ja testaamaan uusien toimittajien kemikaaleja EL-näyttöjen valmistuksessa. Näiden kahden kemikaalin lisäksi myös muille riskikohteille tulee luoda suunnitelma riskin pienentämiseksi. Pienentäminen voi tarkoittaa esimerkiksi vaihtoehtoisen toimittajan löytämistä tai kemikaalin varmuusvarastointia. Lisäksi voidaan kartoittaa prosessivaihtoehtoja, joissa riskikohdetta ei käytetä. Tärkeää on myös seurata, ettei riskit pääse kasvamaan suuremmiksi. Uusien lähtöaineiden hyväksyttämiseen tuotantokäyttöön sekä mahdollisten prosessimuutosten läpivientiin kuluu paljon aikaa, joten toimenpiteet tulee aloittaa hyvissä ajoin ennen kuin riski pääsee toteutumaan tai koetaan toteutumisen uhkaa.

Tehtyjen $MnCl_2$ -testien tulokset eivät juurikaan eronneet toisistaan, eli uusi Mn-lähtöaine näyttää käyttäytyvän samalla tavalla kuin referenssinä ollut Mn-lähtöaine. Työssä tehtyjen testien määrä ei kuitenkaan riitä uuden lähtöaineen käyttäytymisen luotettavuuden todentamiseen. Tulevaisuudessa on hyvä tehdä useampia toistokokeita, joista voidaan nähdä, saadaanko uudella Mn-lähtöaineella tuotettua tasalaatuisia EL-näyttöjä, joiden kynnysjännite ja kirkkaus ovat halutulla tasolla. Tulevat toistokokeet on hyvä tehdä siten, että saatuja mittaustuloksia voidaan verrata käytetyn ALD-reaktorin aiempaan dataan ja tutkia tilastollisten testien avulla, onko nykyisellä ja uudella lähtöaineella tuotettujen EL-näyttöjen välillä tilastollisesti merkitsevää eroa.

Sinkkikloriditestien tulokset näyttivät hyviltä. T-testillä saadut p-arvot olivat yhtä mittaustulosta (L_{40} tuore) lukuun ottamatta yli merkitsevyytason. Toisin sanoen suurin osa mittaustuloksista osoitti, ettei uuden ja nykyisen kemikaalin välillä ole tilastollisesti merkitsevää eroa. Koska kirkkausmittaus käyttäjännitteellä (L_{40}) tehtiin tuoreelle testilasille, tulosta ei voida pitää uuden kemikaalin käytön hylkäävänä tekijänä. Merkittävämpi arvo on L_{40} vanhennetulle testilasille, sillä EL-näytölle tapahtuu muutoksia toiminnan alussa,

mutta sitten ne vakiintuvat ja EL-näytöstä tulee stabiili. Testeissä käytetyssä sinkkikloridissa epäpuhtauksien pitoisuudet vaihtelevat paljon eräkohtaisesti. Jatkossa on hyvä kokeilla muita eriä, joissa epäpuhtauksien pitoisuus on suurempi kuin tässä työssä testatussa erässä. Tällöin epäpuhtauksien vaikutusta EL-näytön ominaisuuksiin voidaan havainnollistaa ja löytää epäpuhtauksien maksimipitoisuus. Tämän avulla osto voi jatkossa ostaa tätä tiettyä sinkkikloridia analyysitodistusten perusteella ilman jokaisesta erästä erikseen tehtäviä testejä.

10 Yhteenveto

Riskianalyyseissa tunnistettiin yhteensä kahdeksan kemikaalia, joiden koettiin olevan uhkana yrityksen tuotannon jatkuvuudelle. Tunnistetuille riskikohteille määritettiin riskin toteutumisen todennäköisyys ja tapahtuman vaikutus sekä riskien merkitystä arvioitiin riskimatriisin avulla. Neljä tunnistetuista riskikohteista saivat riskiarvioksi korkeimman luvun (4), kolme riskikohdetta saivat toiseksi korkeimman riskiarvion (3) ja yksi riskikohde sai riskiarvioksi toiseksi pienemmän luvun (2). Mitä suurempi riskiarvio on, sitä välttämättömmämpi riski on poistaa ja sitä nopeammin tarvitaan toimenpiteitä riskin pienentämiseksi. Pienemmillä riskiarvioilla toimenpiteet riskin pienentämiseksi on hyvä suunnitella, mutta ne eivät ole välttämättömiä. Tunnistetut riskit vaativat kuitenkin seurantaa. Kahta tunnistettua riskikohdetta pyrittiin pienentämään löytämällä kemikaaleille vaihtoehtoiset toimitajat.

Mangaanikloriditesteissä testattiin uuden toimittajan mangaanikloridilähtöaineen soveltuvuutta EL-näyttöjen loisteainekerroksen kasvatukseen. Testeissä tehtiin kaksi ALD-reaktorin ajoa, joista toisessa käytettiin nykyistä, tuotantokäytössä olevaa mangaanikloridia ja toisessa uutta mangaanikloridia. Testeissä kasvatettiin yhteensä neljä ZnS:Mn-ohutkalvoa, joista mitattiin Mn-pitoisuus aikavakiomittauksella sekä kynnysjännite ja kirkkaus kirkkausmittauksella. Testejä oli tarkoitus tehdä enemmän, mutta tuotannollisista syistä testit eivät tähän insinööriyöhön ehtineet. Työssä tehdyt testit toimivat kuitenkin hyvinä esitestinä, joiden pohjalta toistokokeita voidaan tehdä. Uusi Mn-lähtöaine näytti tehdyissä testeissä käyttäytyvän samalla tavalla kuin tuotantokäytössä oleva referenssi-kemikaali.

Sinkkikloriditesteissä testattiin uutta Zn-lähtöainetta, jonka epäpuhtauksien pitoisuudet olivat korkeampia kuin nykyisessä Zn-lähtöaineessa. Testeissä kasvatettiin uudella lähtöaineella kuusi ZnS:Mn-ohutkalvoa, joista mitattiin kynnysjännite ja luminanssi kirkkausmittauksella. Saatuja tuloksia verrattiin saman ALD-reaktorin aikaisempiin ajoihin t-testillä. T-testeistä saadut p-arvot näyttivät hyvältä lukuun ottamatta tuoreelle testilasille mitattua luminanssia käyttöjännitteellä (L_{40} tuore). Luminanssi on kuitenkin mitattu ennen testilasin vanhennusta, jolloin EL-näyttö ei ole stabiloitunut. Tätä tilastollisesti merkitsevää eroa ei voida pitää uuden lähtöaineen käytön hylkäävänä tekijänä, sillä vanhenne-
tusta EL-näytöstä saadut mittaustulokset ovat merkittävämpiä.

Työn tavoitteet tulivat saavutettua. Kohdeyrittäjän riskikemikaalit saatiin tunnistettua ja riskianalyysi tehtyä. Riskianalyysiin otettiin saatavuusongelmien lisäksi mukaan kemikaalien laatu ja laadusta aiheutuva tuotannon keskeytyminen, sillä tämä nousi riskien tunnistuksen yhteydessä esille. Kahdelle riskianalyysissä mukana olleelle kemikaalille ($MnCl_2$ ja $ZnCl_2$) löydettiin vaihtoehtoinen toimittaja. Sinkkikloridin testaukset saatiin suoritettua koesuunnitelman mukaisesti, mutta mangaanikloridin testaukset jäivät tuotannollisista syistä kahteen ALD-reaktorin ajoon. Molempien kemikaalien kokeet kuitenkin toimivat hyvinä pohjina jatkotesteille.

Lähteet

- 1 Juvonen, Marko; Korhonen, Heikki; Ojala, Veli-Matti; Salonen, Tero & Vuori, Heli. 2005. Yrityksen riskienhallinta. Helsinki: Yliopistopaino.
- 2 SFS-ISO 31010. Riskien hallinta. 2013. Riskien arviointimenetelmät. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 3 Kuusela, Hannu & Ollikainen, Reijo. (toim.) 2005. Riskit ja Riskienhallinta. Tampere: Tampereen Yliopistopaino Oy-Juvenes Print.
- 4 Liikeriskit. 2019. Verkkoaineisto. Suomen Riskienhallintayhdistys. <<https://www.pk-rh.fi/riskien-luokittelu/taloudelliset-riskit/liikeriskit.html>>. Luettu 6.6.2019.
- 5 Riskien luokittelu. 2019. Verkkoaineisto. Suomen Riskienhallintayhdistys. <<https://www.pk-rh.fi/riskien-luokittelu.html>>. Luettu 6.6.2019.
- 6 Kuusela, Hannu & Ollikainen, Reijo. (toim.) 1998. Riskit ja Riskienhallinta. Vammala: Vammalan Kirjapaino Oy.
- 7 Suominen, Arto. 2003. Riskienhallinta. 3. uudistettu painos. Vantaa: WSOY.
- 8 Mitä on riskienhallinta? 2019. Verkkoaineisto. Suomen Riskienhallintayhdistys. <<https://www.pk-rh.fi/riskienhallinta/mita-on-riskienhallinta.html>>. Luettu 9.7.2019.
- 9 SFS-ISO 31000. Riskienhallinta. 2018. Ohjeet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 10 Riskienhallintaprosessi. 2019. Verkkoaineisto. Suomen Riskienhallintayhdistys. <<https://www.pk-rh.fi/riskienhallintaprosessi.html>>. Luettu 9.7.2019
- 11 Hirsjärvi, Sirkka; Remes, Pirkko & Sajavaara, Paula. 1997. Tutki ja kirjoita. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy.
- 12 Valtiovarainministeri. 2017. Ohje riskienhallintaan. Verkkodokumentti. Saatavissa: <http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/80013/VM_22_2017.pdf>. Luettu 20.8.2019.
- 13 Ono, Yoshimasa A. 1995. Electroluminescent Displays. Singapore: World Scientific.

- 14 Technology. Beneq. Yrityksen verkkosivut. Verkkodokumentti. Saatavissa: <<https://beneq.com/en/displays/technology>>. Luettu 5.8.2019.
- 15 Leskelä, Markku; Li, Wei-Min & Ritala, Mikko. 2000. Materials in Thin Film Electroluminescent Devices. Semiconductors and semimetals, vol. 65, s. 107–182. Academic Press.
- 16 Leskelä, Markku; Li, Wein-Min; Ritala, Mikko & Rahman, Abu Zayed Mohammad Saliqur. 2018. Electroluminescent Phosphors. Elsevier Inc.
- 17 Yen, William M; Shionoya, Shigeo & Yamamoto, Hajime. 2007. Phosphor Handbook. 2. painos. Boca Raton: CRC Press.
- 18 Leskelä, Markku & Ritala, Mikko. 2002. Atomic layer deposition (ALD): from precursors to thin film structures. Thin Solid Films 409, s. 138–146. Elsevier Science B.V.
- 19 George, Steven M. 2009. Atomic Layer Deposition: An Overview. Chem. Rev. 2010, 110, s. 111–131. American Chemical Society.
- 20 Härkönen, Kari. Principal Scientist, Beneq Oy, Espoo. Keskustelu. 15.8.2019.
- 21 Johnson, Richard W; Hultqvist, Adam & Bent, Stacey F. 2014. A brief review of atomic layer deposition: from fundamentals to applications. Materials Today, Volume 17, Number 5, s. 236–246. Elsevier Ltd.
- 22 Pakkala, Arto & Sonninen, Martti. Menetelmä mangaanipitoisten sinkkisulfidikalvojen valmistamiseksi. Patentti. FI 86995. Haettu 4.12.1990, Myönnetty 10.11.1992.
- 23 Teppo, Kirsi-Marja. 1999. Mangaanin levitys ZnS-ohutkalvolle ALE-prosessissa. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, Kemiantekniikan osasto.

Mangaanipitoisuus mittauspisteissä 1–5

