



Open your mind. LUT.
Lappeenranta University of Technology

**VESI- JA PÖLYTIIVIIT ELEKTRONIKKALAITTEIDEN
KOTELOT**
**Water and dust proof enclosures for electronic equip-
ment**

Janne Komi

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
Teknillinen tiedekunta
Sähkötekniikan koulutusohjelma

Janne Komi
Vesi- ja pölytiivit elektroniikkalaitteiden kotelot

2013

Kandidaatintyö.
28 sivua, 15 kuvaa ja 3 taulukkoa.

Tarkastaja: TkT Mikko Kuisma

Tämän kandidaatintyön tarkoituksena on selvittää koteloiden tiivydelle annettuja vaatimuksia, koteloinnissa käytettyjä tekniikoita, joiden avulla kotelosta saadaan vesi- ja pölytiivis sekä minkä mallisia tiivisteitä on yleisesti käytössä. Vaatimuksia, tekniikoita ja tiivistemalleja on tutkittu kirjallisuustutkimuksen avulla. Koteloilte asetettuja vaatimuksia selvitettiin SFS- ja MIL-standardien pohjalta.

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology
Faculty of Technology
Degree Programme in Electrical Engineering

Janne Komi

Water and dust proof enclosures for electronic equipment

2013

Bachelor's Thesis.
28 pages, 15 pictures and 3 tables.

Examiner: D.Sc. Mikko Kuisma

This thesis' intentions are to look through demands for water and dust proof enclosures. In this study the demands for enclosures are based on SFS and MIL standards. This study also examines different sealing techniques, seal materials and seal shapes that are in use. These matters have been studied through literacy study.

SISÄLLYSLUETTELO

Käytetyt merkinnät ja lyhenteet	5
1. Johdanto	6
2. Suojavaatimukset eri standardeissa	8
2.1 SFS-standardin mukaiset suojavaatimukset	8
2.2 MIL-standardin mukaiset suojavaatimukset	9
3. Kotelon vesi- ja pölysuojaus	12
3.1 Suojausesimerkki: Rakenteen avulla suojaaminen	13
3.2 Tiivistysesimerkki: Oven ja saumojen tiivistys	16
3.3 Tiivistysesimerkki: Rengastiiviste ja paineen tasaus	20
3.4 Tiivistysesimerkki: Tiivistepallot	21
3.5 Kotelon läpi tulevien komponenttien saumojen tiivistys	24
4. Yhteenveto	27
4.1 Tutkimuksen onnistuminen ja jatkotutkimuksen aiheita	27
LÄHTEET	29

KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET

n	kappalemäärä
l	pituus
w	leveys

1. JOHDANTO

Kotelointi on tärkeä osa elektroniikkalaitteita. Kotelo suojaa elektroniikan komponentteja mekaanisilta iskuilta ja laitteiston toimintaa haittaavilta aineilta. Lisäksi esimerkiksi piirilevyjen kiinnitys kotelon runkoon estää kiinnittämättömän piirilevyn liikkeestä aiheutuvat vauriot. Eli kotelo toimii siis varsinaisen elektroniikkalaitteen kannattimena ja suojana. Kuitenkaan elektroniikkalaitteiden kotelot eivät välttämättä saa tarpeellista huomiota laitteistosuunnitteluprosessissa, jolloin kotelo ei välttämättä ole esimerkiksi suojausominaisuuksiltaan mahdolliseen käyttöympäristöön optimaalinen.

Elektroniikkalaitteita suunnitellessa pitää ottaa huomioon käyttöympäristössä olevat ja sinne mahdollisesti tulevat rasisitustekijät, jotka heikentävät laitteen luotettavuutta tai voivat jopa rikkoa sen. Yleisiä tällaisia rasisitustekijöitä ovat vesi, pöly, sähkömagneettinen säteily, painevaihtelut, mekaaniset iskut, värinä ja auringon valo. Näiden lisäksi on yleensä huomioitava sähkömagneettinen yhteensopivuus (EMC), lämmönpoisto ja oikeat kotelo- ja tiivistämateriaalivalinnat. Tässä kandidaatintyössä kuitenkin keskitytään kahteen ensimainittuun rasisitustekijään, veteen ja pölyyn, sekä laitteiden suojaamiseen niiltä.

Tämän kandidaatintyön tutkimuskysymykset ovat: Mitä vaatimuksia voidaan asettaa kotelon tiivydelle? Millä teknisillä menetelmillä voidaan toteuttaa vesi- ja pölytiivis elektroniikkakotelo ja mitä pitää ottaa huomioon niiden rakennetta suunniteltaessa? Minkälaisia tiivisteitä on yleisesti käytössä? Näihin kysymyksiin etsitään vastausta kirjallisuustutkimuksen avulla. Näiden tutkimuskysymyksiä ratkaisujen pitäisi tarjota vastauksia vesi- ja pölytiivitä kotelointirakenteiden suunnitteluun.

Kandidaatintyön toisessa kappaleessa on käsitelty vedeltä ja pölyltä suojautumiseen liittyviä standardeja ja selvitetty mitä vaatimuksia voidaan tietyin keinoin saavuttaa. Kolmannessa kappaleessa on esitetty perusteita vesi- ja pölytiivyyden toteuttamiseksi kotelon rakenteen ja tiivisteiden avulla. Nämä osiot sisältävät esimerkkitoiteuksia, joissa tarkastellaan erilaisia kotelointeja ja kotelon tiivistämiseen liittyviä patenteja. Lopuksi neljännessä kappaleessa tehdään yhteenveto tässä työssä käsitellyistä asioista ja arvioidaan työn onnistumista sekä mietitään aiheita jatkotutkimukselle.

Tämä kandidaatintyö on tehty osana konserteissa käytettävän valojenohjauspöydän suunnitteluprojektia. Projektin tarkoituksena oli tutkia voidaanko valopöytä toteuttaa halvemmalla kuin nyt markkinoilla olevat tuotteet. Projektin kuuluu myös valopöydän raken-

taminen jos tutkimustulokset osoittavat sen järkeväksi. Minun tutkimusalueeni oli valopöydän suojaus yleisiltä räsitus tekijöiltä, joita konserttipaikoilla ja säilytystiloissa on mahdollista laitteistoon kohdistua. Pääasiassa nuo räsitus tekijät ovat nesteitä ja pölyä. Toinen peruste tämän työn tekemiseen on heikko teosvalikoima kotelointiin ja erityisesti vesitiiviiseen kotelointiin liittyen. Tämä tuli useasti huomattua tiedonhakuprosessin aikana.

2. SUOJAVAATIMUKSET ERI STANDARDEISSA

Kotelon suojaus- ja tiiviystasoja määrittelevät esimerkiksi SFS-, IEC-, MIL-, ja NEMA-standardit. Tässä työssä tarkastellaan MIL-standardia ja IEC-standardiin pohjautuvaa SFS-standardia. Eri standardit asettavat eritasoisia vaatimuksia suojuuksille ja niissä on omanlaisensa suojaustason esitystavat. Esimerkiksi suomalaisessa SFS-EN 60529 + A1 -standardissa suojaustaso ilmoitetaan IP-koodilla ja Yhdysvaltain armeijan MIL-STD-108E -standardissa sanallisesti. Mainittu SFS-standardi käsittelee sähkölaitteiden kotelointiluokitusjärjestelmää ja MIL-standardi määrittelee perusvaatimukset elektroniikkalaitteiden koteloinnille. (MIL-STD, 1966; NEMA, 2008; SFS, 2000).

2.1 SFS-standardin mukaiset suojavaatimukset

Suojausluokka, IP-koodi, on esitetty SFS-standardissa muodossa IP-XX, jossa X:n paikalle tulee suojauksen tasoa kuvaava numero. Ensimmäinen numero kertoo suojausluokan vaarallisten osien koskettamista ja vieraita esineitä sekä pölyä kohtaan. Toinen numero kertoo laitteen vesitiiviyyden. Ensimmäinen tunnusnumero voidaan määrittää taulukosta 2.1 ja toinen tunnusnumero taulukosta 2.2.

Taulukko 2.1 Suojauskuvaukset ja -vaatimukset IP-koodin ensimmäiselle tunnusnumerolle.

Ensimmäinen tunnusnumero	Kuvaus	Määritelmä
0	Suojaamaton	-
1	Suojattu yli 50 mm vierailta esineiltä.	Pallomainen halkaisijaltaan 50 mm esine-koetin ei saa tunkeutua kokonaan sisään.
2	Suojattu yli 12,5 mm vierailta esineiltä.	Pallomainen halkaisijaltaan 12,5 mm esine-koetin ei saa tunkeutua kokonaan sisään.
3	Suojattu yli 2,5 mm vierailta esineiltä.	Halkaisijaltaan 2,5 mm esine-koetin ei saa tunkeutua lainkaan sisään.
4	Suojattu yli 1,0 mm vierailta esineiltä.	Halkaisijaltaan 1,0 mm esine-koetin ei saa tunkeutua lainkaan sisään.
5	Pölysuojattu	Pölyn tunkeutumista ei ole kokonaan esitetty. Tunkeutuva pöly ei saa haitata laitteen toimintaa tai turvallisuutta.
6	Pölytiivis	Pölyä ei saa tunkeutua laitteen sisään.

Taulukko 2.2 Suojauskuvaukset ja –vaatimukset IP-koodin toiselle tunnusnumerolle.

Toinen tunnusnumero	Kuvaus	Määritelmä
0	Suojaamaton	-
1	Suojattu pystysuoraan tippuvalta vedeltä.	Pystysuoraan pisaroina tippuva vesi ei aiheuta haittaa.
2	Suojattu pystysuoraan tippuvalta vedeltä, kun laite on kallistettuna 15°.	Pystysuoraan pisaroina tippuva vesi ei aiheuta haittaa, kun laitetta kallistetaan enintään 15° mielivaltaiseen suuntaan pystyasentoon nähden.
3	Suojattu satavalta vedeltä.	Enintään 60° kulmassa satava vesi ei aiheuta haittaa.
4	Suojattu roiskuvalla vedeltä.	Kaikista suunnista roiskuva vesi ei aiheuta haittaa.
5	Suojattu vesisuihkulta.	Kaikista suunnista suuttimella ohjattu vesisuihku ei aiheuta haittaa.
6	Suojattu voimakkaalta vesisuihkulta.	Kaikista suunnista suuttimella ohjattu voimakas vesisuihku ei aiheuta haittaa.
7	Suojattu lyhytaikaisen veteen upottamisen vaikutuksilta.	Veteen lyhytaikeisesti upotettuun kotelointiin ei tunkeudu haitallisessa määrin vettä standardoidussa vedenpaineessa ja upotusajassa.
8	Suojattu jatkuvan veteen upottamisen vaikutuksilta.	Valmistajan ja käyttäjän sopimissa olosuhteissa, mutta ankarammissa kuin numerolla 7, veteen upotettuun kotelointiin ei tunkeudu haitallisessa määrin vettä.

Taulukoiden 2.1 ja 2.2 Määritelmä-sarakkeen mukaiset testausmenetelmät on esitetty aiemmin mainitussa SFS-standardissa, mutta niitä ei käsitellä tässä kandidaatintyössä. IP-luokituksen merkinnässä voi olla myös lisäkirjaimia, joilla on oma merkityksensä, mutta ne eivät ole vesi- ja pölytiivyyden kannalta oleellisia.

2.2 MIL-standardin mukaiset suojavaatimukset

MIL-STD-108E:n mukaiset pölyyn ja veteen liittyvät suojavaatimukset on esitetty taulukossa 2.3. MIL-STD-108E sisältää myös monia muita suojavaatimuksia esimerkiksi hermeettisyys ja räjähdysenesto.

Taulukko 2.3 MIL-STD-108E mukaiset suojaustasot pölyltä ja vedeltä sekä niiden määritelmät.

Suojaustaso	Kuvaus	Määritelmä
Avoin	-	Avoin kotelo, ei suojalaitteita
Avoin, suojattu	-	Avoin kotelo, suojattu koskettamiselta
Pölysuojattu	Koteloon pääsevä pöly ei haittaa toiminnallisuutta.	Suunniteltu siten, että pöly ei pääse vaikuttamaan laitteen toiminnallisuuteen.
Pölytiivis	Koteloon ei pääse pölyä.	Kotelossa ei saa olla tuuletus- tai muita aukkoja.
Pölyräjähdysuojattu	Koteloitu laite toimii, ilman vaaraa, kun sen läheisyydessä on räjähdykseen tarvittava määrä määrättyä pölyä.	Kotelossa ei saa olla tuuletus- tai muita aukkoja. Koteloidun laitteen lämpötila ei saa nousta tarpeeksi korkeaksi sytyttämään pölyä.
Sadesuojattu (15° tai 45°)	Koteloitu laite toimii, kun pisaaroita tai kiinteitä kappaleita putoaa 15°/45° tai pienemässä kulmassa.	Laitteessa saa olla tuuletusreikiä pohjassa ja sopivan malliset tuuletussäleiköt sivuissa.
Roiskesuojattu	Käyttöasennossa oleva laite toimii, kun siihen kohdistetaan harvassa olevia vesisuihkuja (vrt. kastelukannun suutin) tai kiinteitä kappaleita.	Vesisuihku tai kiinteät kappaleet eivät saa haitata laitteen toiminnallisuutta.
Suojattu vesisuihkulta	Kotelo estää kaikista suunnista tulevan vesisuihkun sisäänpääsyn.	Kotelossa ei saa olla tuuletus- tai muita aukkoja. Kotelon kannet ja luukut pitää tiivistää. Oltava ulkosään kestävä.
Upotettava (4,6 m, 15,2 m tai 487,7 m)	Koteloitu laite toimii upotettuna määrättyyn syvyyteen.	Upotettava kotelo estää kaiken vedenpääsyn määrättyssä syvyydessä.

Taulukon 2.3 mukaisien suojaustasojen määrittämistä varten MIL-STD-108E:ssä, sen ensimmäisessä muutosilmoituksessa ja MIL-STD-810G:ssä on esitetty testimetodit, mutta ei käsitellä niitä tässä kandidaatintyössä.

Edellä mainituissa standardeissa on monia yhteneväisyyksiä käsiteltyjen asioiden osalta. MIL-standardi kuitenkin antaa kotelon suunnittelijalle rajoja, joiden puitteissa toimia. Tällainen raja on esimerkiksi tuuletusaukkojen kieltäminen.

3. KOTELON VESI- JA PÖLYSUOJAUS

Kotelon rakenteen suunnittelulla on suuri merkitys kotelon vesisuojausten kannalta. Kotelon rakenteen avulla voidaan tehdä reitti kotelon ulkopuolelta sen sisälle niin pitkäksi ja mutkaiseksi että vesi ei helposti pääse kotelon sisälle. Tällaisista ratkaisuista voidaan käyttää nimitystä sokkelo- tai labyrinttiivistin, jonka periaate nähdään kuvassa 3.1. Tällä tavoin ei saada täysin tiivistä rakennetta, mutta pystytään vähentämään koteloon pääsevän veden määrää, jopa niin ettei siitä koidu haittaa suojatulle laitteistolle. Jos kotelon sisä- ja ulkopuolella on paine-ero, veden kulku edistyy. Tällaisiin ympäristöihin tarvitaan labyrinttimaisen rakenteen lisäksi muitakin keinoja veden ja pölyn kulkeutumisen estämiseksi.

Tiivisteiden tarkoituksena on eristää kaksi tai useampi alue toisistaan niin että niiden välillä ei tapahdu nesteiden, lian tai kaasujen vaihtumista. Joskus myös halutaan säilyttää haluttu alueiden välinen paine-ero. (Childs, 2004; Chastain, 2008; Kivioja, 1993.)

Tiivisteiden toiminta perustuu niiden muodonmuutokseen kun niihin kohdistetaan sopivan suuruinen ja tasainen puristusvoima. Puristusvoiman vaikutuksesta tiivisteet mukautuvat pintojen muotoihin ja siten saavat aikaan fyysisen seinämän, joka on esimerkiksi veden- ja pölynpitävä. (Chastain, 2008; Kivioja, 1993.)

Tiivisteet voidaan jakaa staattisiin, puolistaattisiin ja dynaamisiin tiivisteisiin. Staattisen ja dynaamisen tiivisteiden erottaa tiivistyskohdan liike. Staattisten tiivisteiden tiivistyskohdassa ei ole ollenkaan liikettä ja dynaamisilla tiivisteillä vastaavasti on pyörivää, lineaarista tai nämä yhdistävää liikettä. Puolistaattiset tiivisteet sijoittuvat näiden kahden välimaastoon, joka tarkoittaa että tiivistyskohdassa saattaa olla ajoittain liikettä. Koska nyt käsitellään koteloitten tiivistystä, voidaan todeta että kyseessä on kotelon mahdollista avaamista lukuun ottamatta staattinen tiivistys, joten käsitellään jatkossa staattisia tiivisteitä. (Childs, 2004; Kivioja, 1993.)

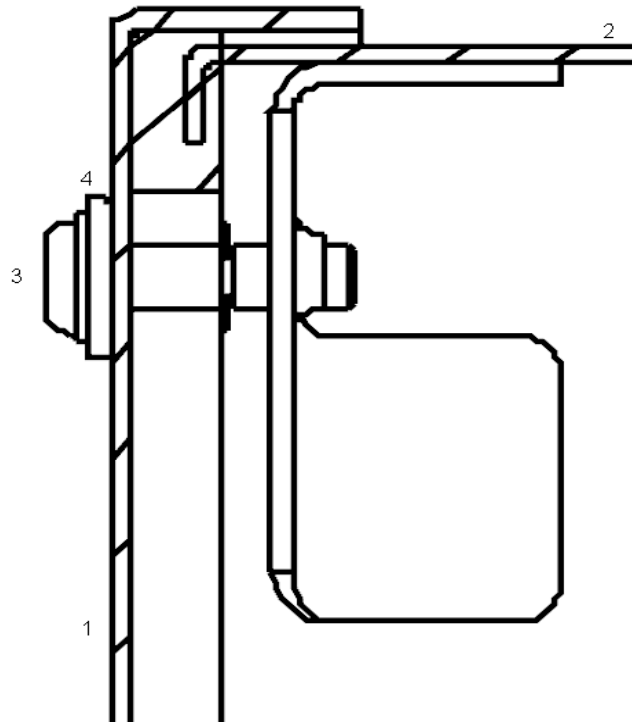
Yleisiä tiivistemateriaaleja ovat muovit ja kumit, mutta käyttökohteesta ja vaatimuksista riippuen voidaan käyttää paperista, liimasta, korkista, grafiitista tai vaikka metallista valmistettuja tiivisteitä. Kumitiivisteistä oiva esimerkki on silikoni, koska sillä on monia hyviä ominaisuuksia. Tässä kandidaatintyössä ei syvennyttä eri tiivistemateriaalien ominaisuuksiin. (Kivioja, 1993.)

Tiivisteille tavallisimmin asetetaan vaatimuksia myös muodonmuutoskyvyn lisäksi. Näitä vaatimuksia ovat lujuus, lämpötila- ja UV-säteilykesto ja kemiallinen kestävyys sekä tiivisteiden toiminnallinen käyttöikä. Edellä mainittiin silikoni hyvänä kumitiivistemateriaalina, koska sillä on hyvä lämpötilankesto, UV-säteilykesto ja myös tarvittaessa seostamalla saadaan lisättyä sen kemiallista kestävyttä. Silikoni sopii käytettäväksi, jopa -80 Celsius-asteesta 200 asteeseen, jolloin lämpötila-alue kattaa suuren osan käyttökohteista. (Airila et al., 1985; Kivioja, 1993.)

Staattisten tiivisteiden perustyyppinä ovat esimerkiksi taso-, muoto- ja O-rengastiivisteet. Nimensä mukaisesti tasotiivisteet ovat tarkoitettu erityisesti tasomaisten pintojen tiivistämiseen kuten vaikka laippaliitosten tiivistämiseen. Näiltä tasopinnoilta vaaditaan kuitenkin sileää pinnanlaatua, koska tasotiivisteet ovat paksuudeltaan yleensä ohuita (1 - 3 mm), jolloin ne eivät ole yhtä muodonmuutoskykyinen kuin paksummat tiivisteet. (Kivioja, 1993.)

3.1 Suojausesimerkki: Rakenteen avulla suojaaminen

Tässä osiossa käsitellään Bud Industries Incorporated -yrityksen SNC-3751-kotelon suo-jakannen rakennetta ja kiinnitystä kotelon runkoon sekä Opal jakorasiakotelon rakennetta. Kuvasta 3.1 nähdään, että kotelon kansi ja runko menevät limittäin ja kiristämällä kiinnitysruuvia ne saadaan painautumaan yhteen. Yhteen painautuminen ja limittäisyys estävät veden pääsyn koteloon kaikista paitsi yhdestä suunnasta. Tämä suunta tulee valita siten, että se ei ole oletettavin tulosuunta esimerkiksi vesisuihkulle.



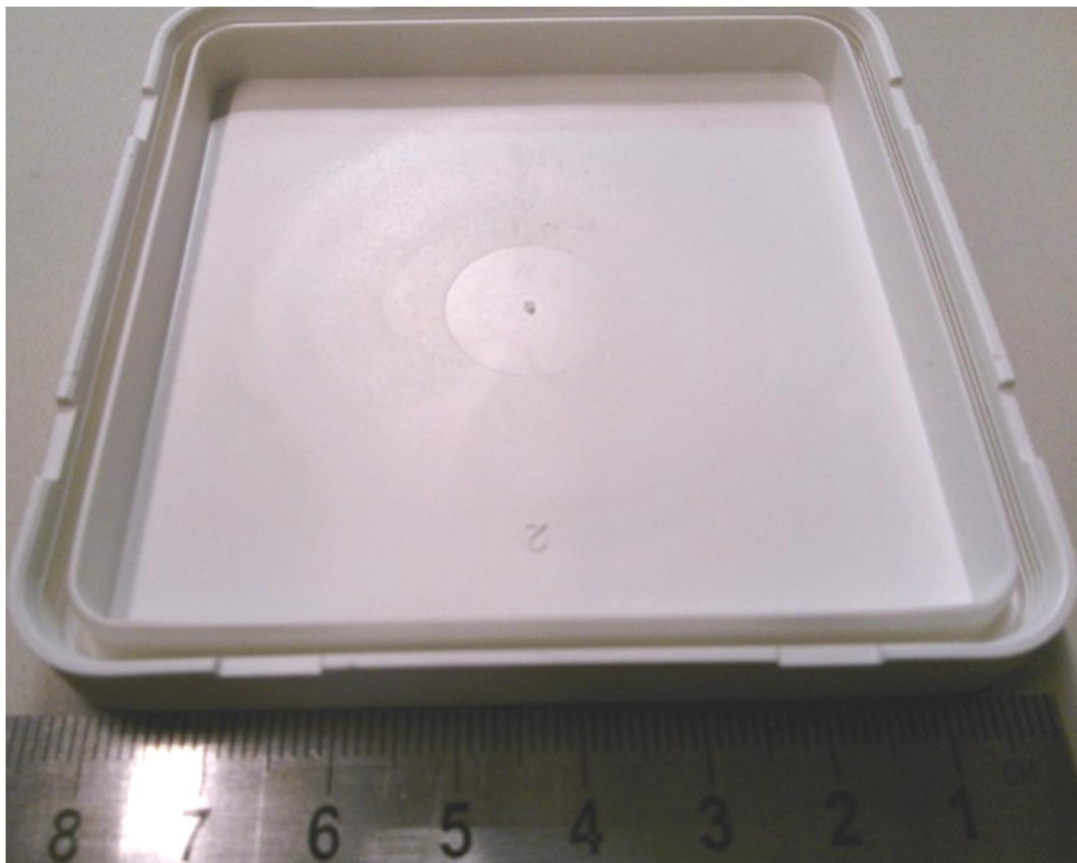
Kuva 3.1 Kotelon sivuleikkauksen rakenne ja kotelon osat: 1 kotelon kansi, 2 kotelorunko, 3 kiinnitysruuvi ja 4 tiivisterengas ruuvien alla. (Kuvaa muokattu, Bud Industries Inc., 2008.)

Kotelon kanteen täytyy tehdä reikää kiinnitysruuvia varten, mutta se ei aiheuta haittaa kunhan ruuvien kannan alle sijoitetaan tiiviste. Tiivisteitä käsitellään tarkemmin tulevilla luvuilla.

Kuvissa 3.2 ja 3.3 on esitetty IP-55-luokan jakorasiakotelo ja sen kansi. Kotelon valmistaja on Opal ja sen kuluttajahinta on noin kaksi euroa.



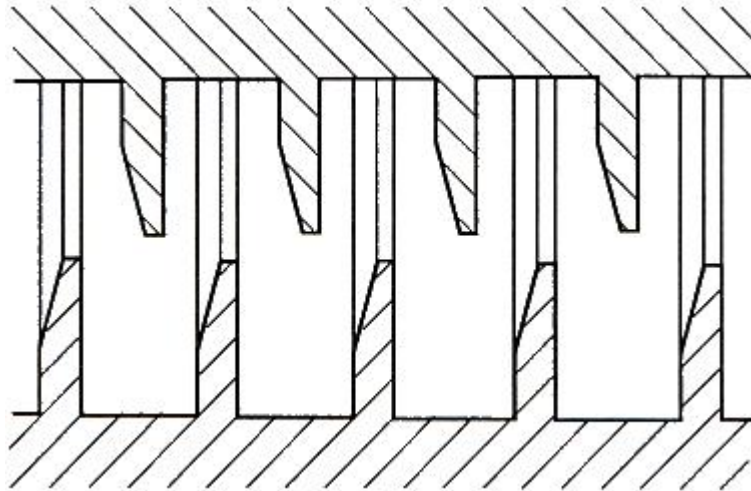
Kuva 3.2 Jakorasiakotelo ilman kantta.



Kuva 3.3 Jakorasiakotelon kansi, jossa on ura kotelon rungolle.

Kuvista 3.2 ja 3.3 nähdään, että kannessa on ura, johon kotelon runko painautuu. Tästä muodostuu veden kulkua estävä mutka. Tarkemmin kuvia katsoessa huomataan, että ko-

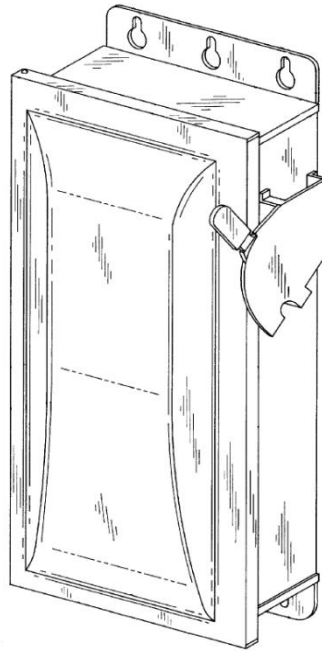
telon rungon yläosassa on kotelon reunaa kiertäviä ulkonemia. Vastaavasti kotelon kannen urassa on myös reunaa kiertäviä ulkonemia. Nämä ulkonemat muodostavat labyrintti-tiivistimen, joita käytetään yleensä liikkuvien rakenteiden tiivistämisessä. Labyrintti-tiivistimen periaate on esitetty kuvassa 3.4.



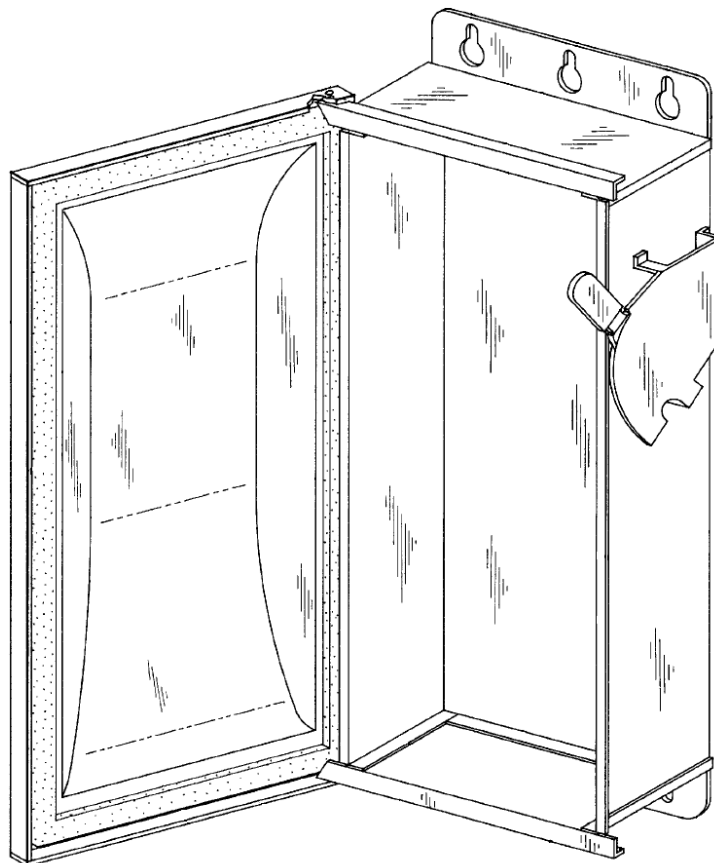
Kuva 3.4 Labyrintti-tiivistimen leikkaus, josta nähdään puolittain vuorottelevat ulokkeet, jotka muodostavat sokkelon. (Kivioja, 1993.)

3.2 Tiivistysesimerkki: Oven ja saumojen tiivistys

Sähkökaapin rakennetta käsittelevässä patentissa otetaan kantaa kotelon oven rakentamiseen ja kiinnitykseen sekä tiivistykseen kaapin kokoamisvaiheessa. Nyt käsiteltävä kaappi koostuu neljästä kappaleesta; kahdesta päätylevystä, ovesta ja rungosta. Perinteisen mallisissa sähkökaapeissa ovi on tasainen, mutta tässä ratkaisussa oven taipuminen on esitetty erilaisella muotoilulla, joka tuo sen rakenteeseen jäykkyyttä. Tämä nähdään kuvista 3.5 ja 3.6, joista myös nähdään kotelo kokonaisuudessaan. (United States Patent, 1999.)



Kuva 3.5 Sähkökaappi kokonaisuudessaan. (Kuva muokattu, United States Patent, 1999.)

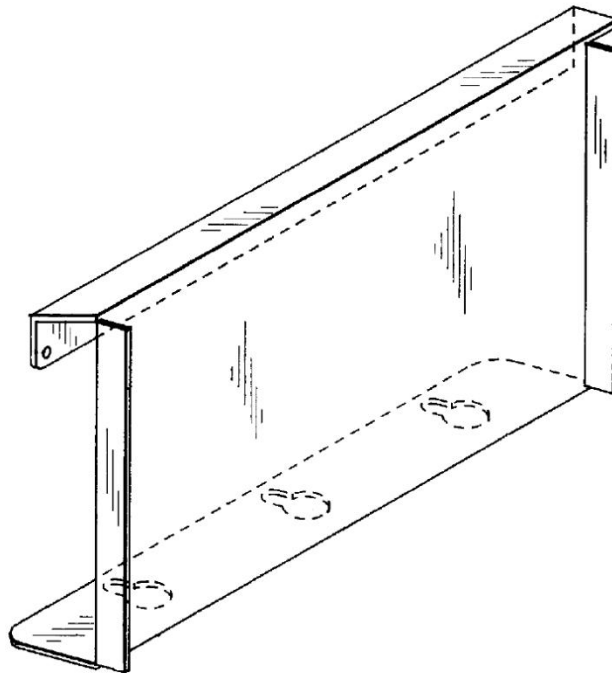


Kuva 3.6 Kaappi avoinna nähdään oven reunassa oleva tiiviste, joka painautuu kaapin reunoja vasten kun kaappi on kiinni. (Kuva muokattu, United States Patent, 1999.)

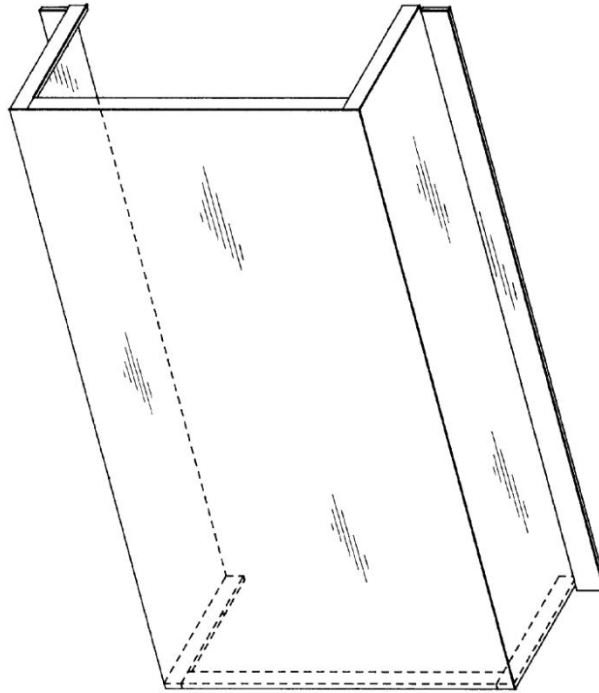
Oven ulkoneva muotoilu estää oven muodonmuutoksen ja suuntaa veden pois päin, kun siihen kohdistuu voimakas vesisuihku. Oven muodonmuutos voisi olla pysyvä, jolloin tiivisteeseen ei kohdistuisi tasainen paine. Tästä johtuen tiivisteeseen ja kotelon väliin voisi jäädä rako, josta lika ja vesi pääsevät kotelon sisäpuolelle. (United States Patent, 1999.)

Oven kiinnityksessä on hyvä huomioida, että ovi on täysin suorassa. Jos ovi ei ole suorassa saattaa oven tiiviste jättää raon, josta vesi pääsee sisään. Kun ei käytetä mitään erillisiä saranointirakenteita, vaan pultataan ovi suoraan päätylevyissä oleviin reikiin, vältetään ylimääräisiltä hitsauksessa tapahtuvista asennusvirheistä. (United States Patent, 1999.)

Kokoamisvaiheessa, kun päätylevyt kiinnitetään runkoon, tiivistemateriaali laitetaan päätylevyn ja rungon väliin. Näin vältetään tiivisteeseen vaurioitumiselta, kun se ei ole kiinnitettynä ulko- tai sisäsaumaan. Päätylevyn ja rungon rakenne nähdään kuvista 3.7 ja 3.8. (United States Patent, 1999.)

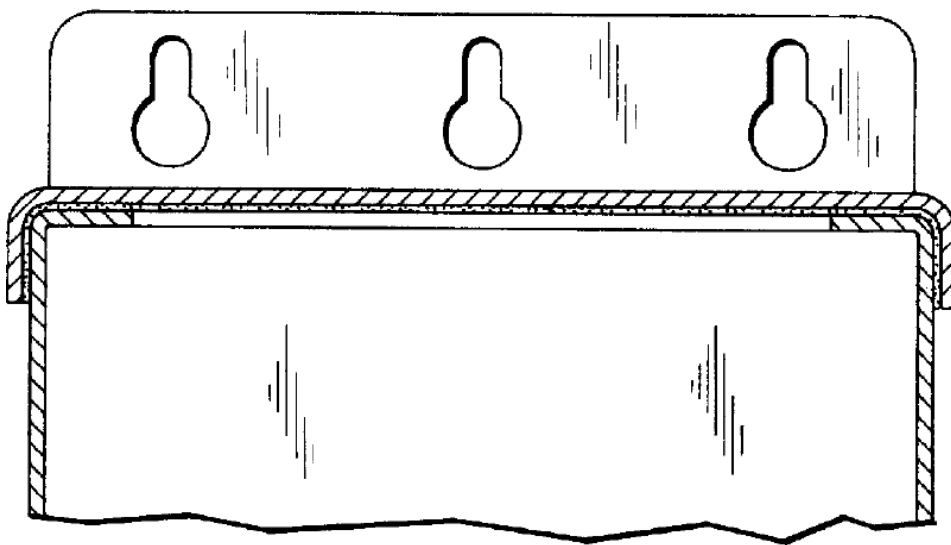


Kuva 3.7 Ylempi päätylevy, jonka sivut on taivutettu alaspäin ulokkeiksi, että ne menevät lomittain rungon kanssa. Alapuoli on taivutettu ja rei'itetty siten, että kaappi voidaan kiinnittää helposti seinään. Yläpuoli on taivutettu niin, että siinä olevaan reikään voidaan kiinnittää ovi ja että ovesa oleva tiiviste painautuu reunaa vasten. (Kuva muokattu, United States Patent, 1999.)



Kuva 3.8 Kaapin runko takaapäin kuvattuna. Pidemmät sivut on taivutettu ulospäin, että nekin painautuvat oven tiivisteitä vasten. Päätyjen sivut on taivutettu sisäänpäin. (Kuva muokattu, United States Patent, 1999.)

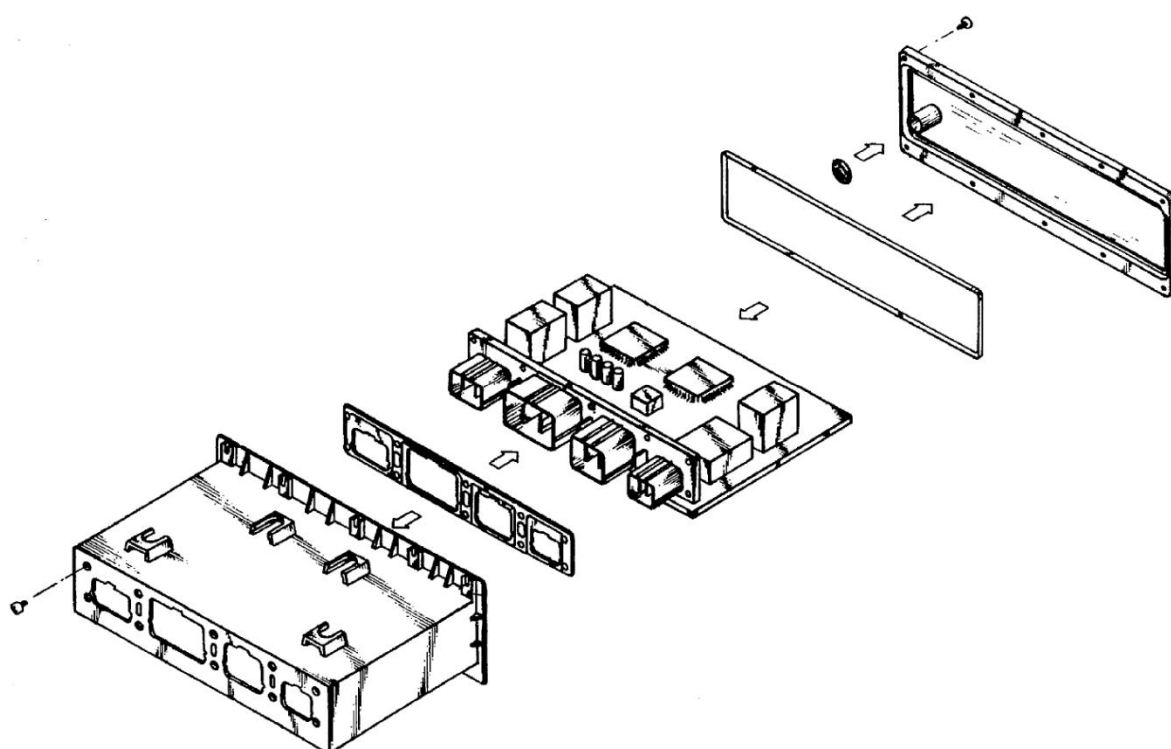
Tiiviste asetetaan rungon päädyn sisäänpäin taivutettuihin osiin ja laitojen yli kaapin sivuilta. Kaapin sivuilta tiiviste menee yli saman pituuden kuin päätylevyn sivuilla olevat ulokkeet, jolloin tiiviste jää päätylevyn ja rungon väliin kuvan 3.9 mukaisesti. (United States Patent, 1999.)



Kuva 3.9 Päätylevy ja runko yhdistettynä sekä tiiviste niiden välissä. Päätylevy on rungon päällä.

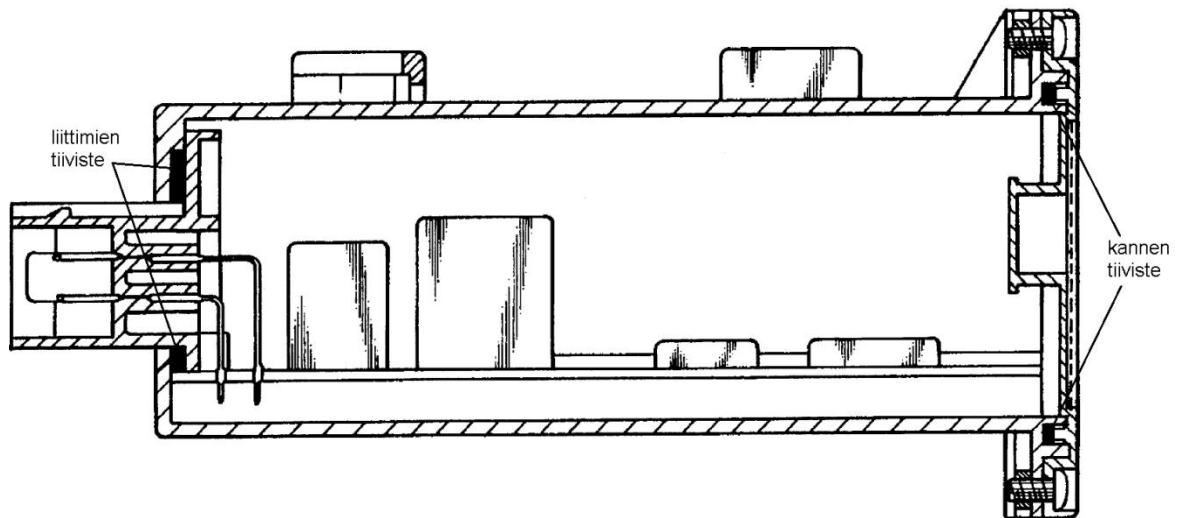
3.3 Tiivistysesimerkki: Rengastiiviste ja paineen tasaus

Kotelointiesimerkki käsittelee määräämättömän elektroniikkalaitteen suojaamista vedeltä ympäristössä, jossa lämpötila vaihtelee suuresti, kuten esimerkiksi autojen moottoritilat. Suojaus perustuu tiivisteisiin liitännöiden ja kannen ympärillä sekä venttiin, joka päästää lävitseen vain ilmaa ja näin tasaa kotelon sisällä olevaa painetta. Paineen tasauksesta on huolehdittava siksi, ettei voimakkaan kuumenemisen takia muuten tiiviiseen koteloon synny painetta, joka voisi aiheuttaa kotelossa epämuodostuman. Epämuodostuma voisi taas aiheuttaa tiiviyden menetyksen. Koteloinnin pääosat nähdään räjäytyskuvasta, joka on esitettyä kuvassa 3.10. (United States Patent, 1997.)



Kuva 3.10 Koteloinnin pääosat vasemmalta päin lukien; kotelo, liittimien tiiviste, itse laite liittimiseen, kannen tiiviste ja kansi, jossa vain ilmaa läpäisevä venttiili. Kotelo-osan suuta reunustava ulkonema on vahvistettu tukikaarilla taipumisen estämiseksi. (Kuva muokattu, United States Patent, 1997.)

Tämä kotelointiratkaisu antaa myös hyvän näkemyksen tehokkaasta tiivisteiden käytöstä. Kuten kuvasta 3.10 nähtiin, tulee liittimien ja kotelon rungon väliin tiiviste. Koteloitava laite kiinnitetään kotelon runkoon ruuveilla. Tämä tapahtuu kotelon liitinaukkojen puolelta. Ruuvit samalla myös puristavat tiivisteiden tiukasti laitteen ja kotelon väliin. Kotelon sivupoikkeileikkauksesta, joka on esitettyä kuvassa 3.11, nähdään kotelon rakenne tarkemmin. (United States Patent, 1997.)

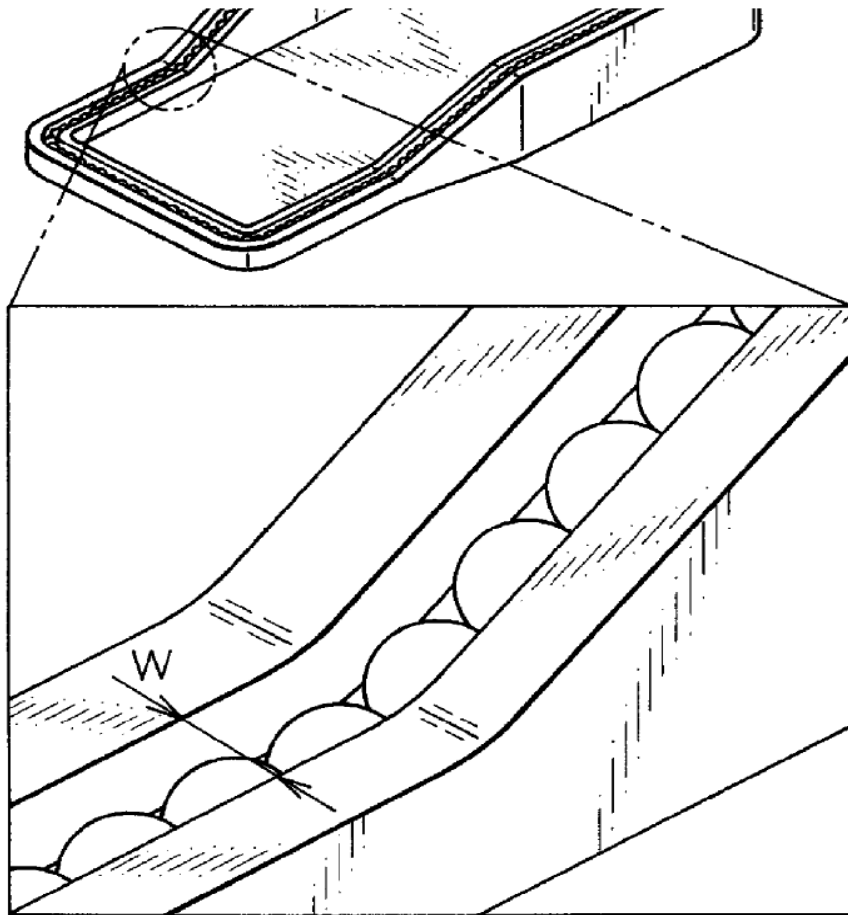


Kuva 3.11 Kotelon sivupoikkileikkaus, josta nähdään mustalla piirretyt tiivisteet sekä kannen muotoilu ja kiinnitysruuvit. (Kuva muokattu, United States Patent, 1997.)

Tiivisteelle on kotelon rungossa oma ura ja kotelon kannessa on samalla kohdalla uloke, joka painaa tiivisterenkaan tiukasti uran pohjalle, kun kansi ruuvataan paikoilleen. Limitäin menevä rakenne yhdessä tiivisterenkaan kanssa saavat aikaan vettä pitävän rakenteen.

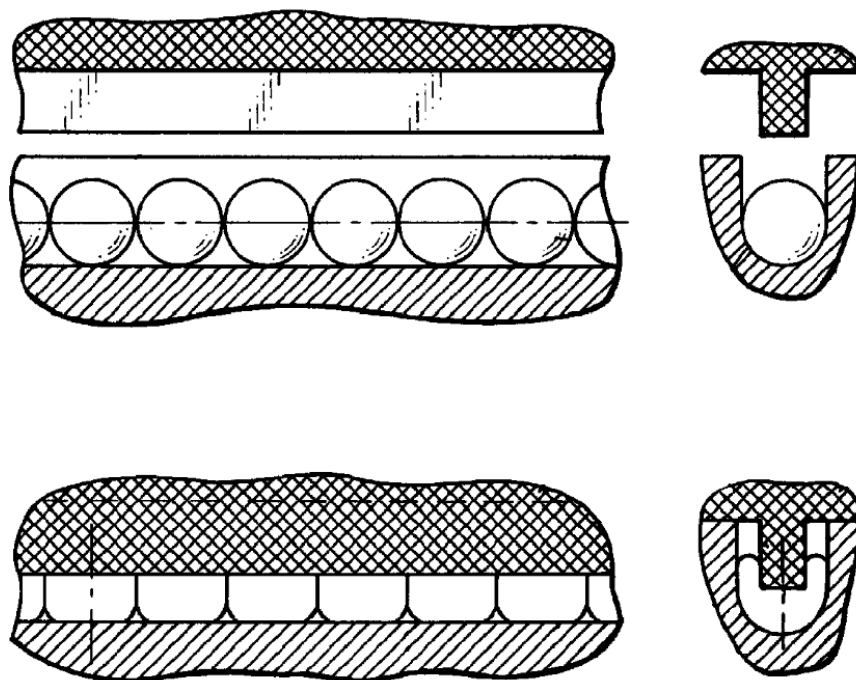
3.4 Tiivistysesimerkki: Tiivistepallot

Pienelektronikan, kuten matkapuhelimien ja kannettavien tietokoneiden vesi- ja pölytiivistykseen patentoitu tekniikka on hyvin erilainen kuin aiemmin mainitut. Siinä ei käytetä tiivisterenkaita tai muita vastaavanlaisia tiivisteitä, vaan elastisia tiivistepalloja. Tiivistepallot asetetaan kotelon pohjaosassa olevaan uraan kuvan 3.12 mukaisesti. (United States Patent, 2012.)



Kuva 3.12 Kuvassa kotelon pohjaosa, jonka laidan mukaisesti olevaan uraan on asetettu elastiset tiivistyspallo. (Kuva muokattu, United States Patent, 2012.)

Elastisiin tiivistepalloihin pohjautuva tiivistystekniikka perustuu pallojen muodonmuutokseen. Muotoutuminen saadaan aikaan kotelon kansiosan laitaa kiertävän ulokkeen avulla. Uloke vastaa pohjaosan uraa, mutta on kuitenkin kapeampi kuin itse ura. Kuvasta 3.13 nähdään, miten tiivistepallot muotoutuvat ja tiivistävät sauman kun kotelo suljetaan. (United States Patent, 2012.)



Kuva 3.13 Kotelo kuvattuna uran sivulta ja uran myötäisesti. Yllä olevat kuvat esittävät tilanteen juuri ennen kuin kotelon kansi asetetaan pohjan päälle. Alla olevat kuvat näyttävät tilanteen kun kansi on paikoillaan ja tiivistepallot ovat tiivistäneet kotelon sauman. (Kuva muokattu, United States Patent, 2012.)

Tiivistepallojen etuna on, ettei liimaa tarvita tiivistämään laitteen saumaa, mikä johtaisi kotelon huonompaan avattavuuteen ja siten huollettavuuteen (United States Patent, 2012). Kun liimaa ei käytetä, täytyy valita toinen tapa kiinnittää kotelon osat toisiinsa siten, että saadaan aikaiseksi tiivis sauma. Tämä voidaan tehdä esimerkiksi ruuveilla, jotka sijoitetaan tiivistettävän alueen ulkopuolelle, niin että ei muodostu uutta reittiä pölylle ja vedelle.

Tiivistepalloilla on etu tavallisiin kumirengastiivisteisiin nähden, kun tiivistettävässä saumassa on pyöreäkulmaisia ja luiskamaisia korkeusvaihteluita (United States Patent, 2012). Saumassa ei saa olla teräviä kulmia, koska muutoin pallojen muodonmuutoskyky ei välttämättä riitä sauman tiivistämiseen. Kyseessä olevassa tapauksessa muotoilematoman tiivisterenkaan asettaminen paikoilleen kasausvaiheessa on hankalampaa, kuin tiivistyksen toteuttaminen palloilla. Hankaloittava tekijä pallotiivistyksessä on pallojen halkaisijan suhde tiivistettävän sauman keskikohdan pituuteen. Sauman pituus l on oltava yhden pallon halkaisijan w monikerta. Tämä tulee paremmin esille yhtälöstä

$$l = nw, \quad (3.1)$$

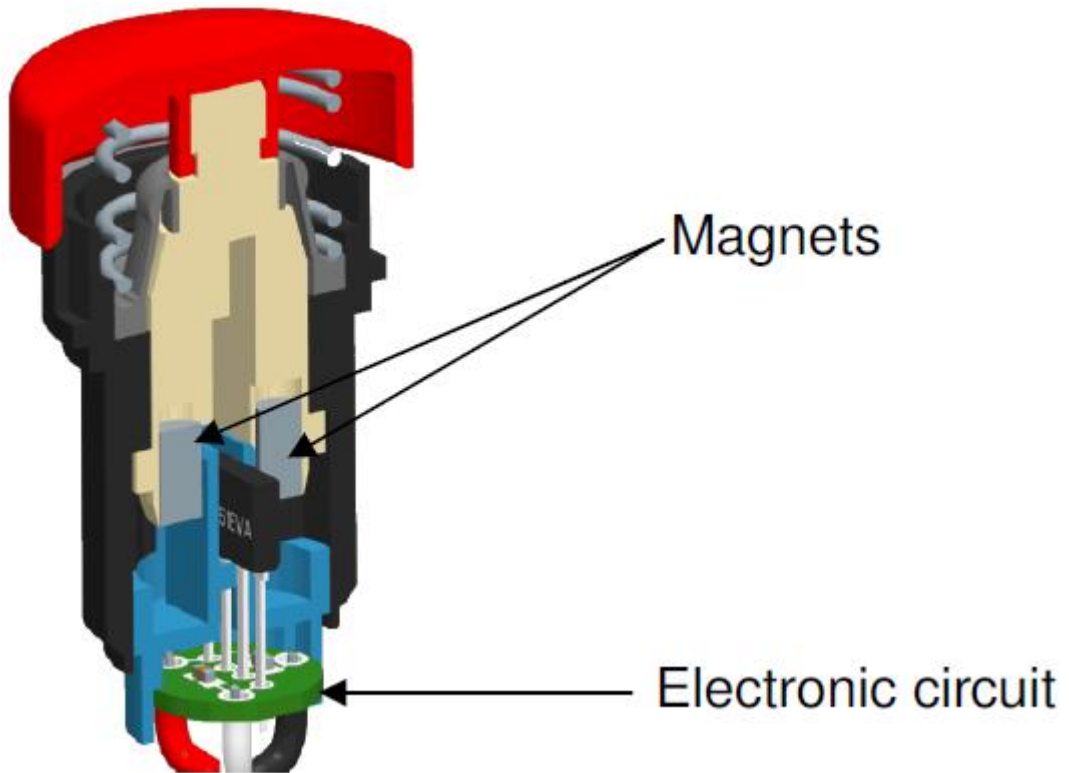
jossa n on pallojen lukumäärä ja w on pallon halkaisija sekä kotelon uran leveys. Jos yhtälö 3.1 ei ole voimassa jää saumaan ylimääräistä tilaa ja pallojen muodonmuutos ei välttämättä pysty täyttämään sitä kokonaan.

Valmistustekniikan näkökulmasta tiivistepallojen avulla tiivistäminen on haasteellista ja samalla todennäköisesti kallista. Palloille tehtävä ura lisää kotelon valmistamiseen tarvittavien työvaiheiden määrää ja siten tuottaa todennäköisesti lisäkuluja. Voidaankin todeta, että erityisesti pienessä mittakaavassa ei tämä tiivistystekniikka ole järkevä.

3.5 Kotelon läpi tulevien komponenttien saumojen tiivistys

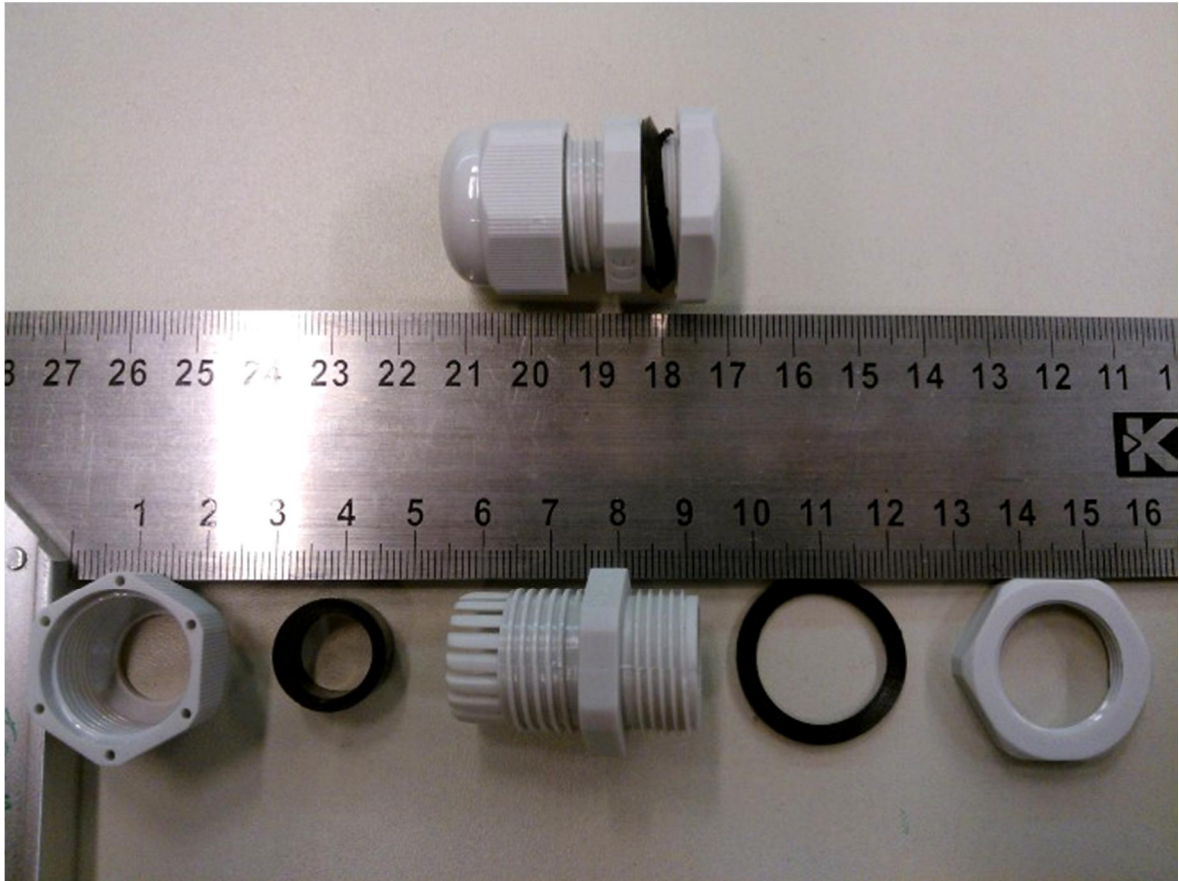
Kytkin- ja näyttökomponenttien asentamista varten täytyy kotelossa olla aukko, jonka sauma täytyy myös tiivistää. Tiivistyksestä ei kuitenkaan ole hyötyä jos itse kytkin ei ole veden- ja pölynpitävä, koska vesi voi kulkeutua itse komponentin läpi. Kotelon läpäisevät komponentit täytyy siis valita saman tai korkeamman tason IP-luokasta kun kokonaisuuden IP-luokan halutaan olevan.

Korkean IP-luokan painonappi voidaan toteuttaa esimerkiksi Hall-efektiä hyväksi käyttäen. Tällöin napin liikkuva osa sisältää kestopagneetin. Nappia painettaessa Hall-anturi havaitsee kestopagneetin magneettikentän ja nappi kytkeytyy johtavaan tilaan. Tällaisella toteutuksella ei napin lävitse tarvitse olla minkäänlaista kulkureittiä, jota pitkin vesi tai pöly voisi kulkeutua. Kuvasta 3.14 nähdään Hall-anturin avulla toteutettu painonappi.



Kuva 3.14 Hall-anturin avulla toimiva painonappi, jonka IP-luokka on IP-67 (Apem, 2010).

Myös johtojen läpiviennit saadaan tiiviiksi läpivientitiivistemen avulla. Kuvassa 3.15 on Bilteman läpivientitiivistin koottuna ja osina. Liitin on IP-luokaltaan IP-68.



Kuva 3.15 Ylhäällä koottu läpivientitiivistin ja alhaalla läpivientitiivistin osissa.

Kuvan 5.15 läpivientitiivistimessä on viisi osaa: runko, kaksi tiivistettä ja kaksi mutteria. Käytössä kaapeliliitin tulee kotelon läpi ja se kiristetään muttereiden avulla tukevasti kotelon runkoon. Samalla saadaan aikaan puristusvoima, jolloin tiivisteen muodonmuutos tiivistää läpivientitiivistintä ympäröivän sauman. Tästä voidaan todeta, että korkean IP-luokituksen saavuttamiseen ei välttämättä tarvita kalliita komponentteja tai materiaaleja.

4. YHTEENVETO

Pöly- ja vesitiiviiden määrittäviä standardeja ovat esimerkiksi SFS-EN 60529 + A1 ja MIL-STD-108E. SFS-standardissa esitetyt IP-luokat antavat selvät määritelmät suojaamattomasta aina veteen upotuksen kestävään kotelointiin. MIL-standardissa ei ole lyhyttä ja ytimekästä merkintätapaa kuten IP-luokat, mutta kotelolle annettiin selviä suunnittelulähtökohtia. Esimerkiksi vesisuihkusuojatussa kotelossa ei saa olla minkäänlaisia tuuletusreikiä, sen saumojen on oltava tiivistetyt ja sen täytyy olla ulkosään kestävä.

Erimallisia tiivisteitä on lukematon määrä aina tiivistävistä liimauksista erikoisempiin tiivistepalloihin. Näistä tiivisteistä pitäisi jokaiseen käyttökohteeseen löytyä sopiva ratkaisu. Kuitenkin joissain tapauksissa voi olla järkevämpää jättää ylimääräinen tiivistys pois sen mahdollisesti aiheuttamien lisäkustannusten takia. Voidaan myös todeta, että tiivisteitä voidaan valmistaa monista hyvinkin erilaisista materiaaleista.

Pöly- ja vesitiiviiden toteutukseen voidaan käyttää kahta pääasiallista tekniikkaa. Nämä tekniikan ovat kotelon dimensioiden suunnittelu veden kulkua estävästi ja tiivisteaineiden käyttö. Kotelon tiiviys saadaan paremmaksi kuin näitä kahta tekniikkaa käytetään samanaikaisesti.

4.1 Tutkimuksen onnistuminen ja jatkotutkimuksen aiheita

Voidaan todeta, että ensimmäisessä kappaleessa esitettyihin tutkimuskysymyksiin saatiin vastaukset. Tosin nykyään käytössä olevista tiivisteistä ei käsitelty erilaisten materiaalien merkitystä. Tutkimus on kuitenkin pystynyt täyttämään sille asetetut tavoitteet ja sitä voidaan siis pitää onnistuneena.

Kun tarkastellaan lähdemateriaalia, voidaan huomata, että ne koostuvat lähinnä standardi- ja patenttiteksteistä sekä konetekniikkaa käsittelevästä kirjallisuudesta. Konetekniikan eri kirjat eivät olleet ristiriidassa vaan niissä oli yhtenevää ja toisiaan tukevaa tietoa, jolloin voidaan pitää niiden sisältöä totuuteen perustuvana. Myös standarditekstit olivat laadullisesti hyvää tutkimusmateriaalia, koska ne ovat yleisesti käytössä ja luotettavien standardituottajien materiaalia. Patenttiteksteistä ilmeni hyviä suunnitteluseikkoja, joita voi hyödyntää tiiviiden koteloiden rakennetta suunniteltaessa. Kuitenkin patenttiteksteissä tuotteiden toiminnan kuvaukset oli kirjoitettu suhteellisen optimistiseen sävyyn. Todennäköisesti tuotteita on kuitenkin testattu ja todistettu toimiviksi. Patenttien sisältämät tiedot eivät kuitenkaan ole olleet ristiriidassa kirjallisuudessa esitettyjen tietojen kanssa vaan saman suuntaisia. Tätä voidaan pitää patentteja tukevana seikkana.

Kun tarkastellaan pöly- ja vesitiiviyden näkökulmasta, tässä kandidaatintyössä tehdyn tutkimuksen ulkopuolelle jäi erilaisten tiivistemateriaalien ominaisuuksien vertailu ja eri materiaalien käyttökohteet nykypäivänä. Tutkimuksen ulkopuolelle jäi myös lämmönsiirtoon liittyvät asiat. Lämmönsiirto olisi syytä huomioida jos tarkoituksena on koteloida paljon lämpöä tuottava laite, kuten esimerkiksi jonkinlainen prosessori. Näiden asioiden lisäksi tulevaisuudessa tutkimuksissa voitaisiin käsitellä iskukestävyyttä ja suojausta sähkömagneettiselta säteilyltä.

LÄHTEET

- (Apem, 2010) Apem. 2010. IH Series Hall Effect Switches. [verkkodokumentti]. [viitattu 31.3.2013]. Saatavilla http://media.digikey.com/PDF/Data%20Sheets/APEM%20Components%20PDFs/IH_%20Series_Brochure.pdf
- (Airila et al., 1985) Airila, M. Karjalainen, J.A. Mantovaara, U. Nurmi, L. Ranta, A. Verho, A. 1985. Koneenosien suunnitelu 4, Erityisalueet. Porvoo: WSOY. s.474. ISBN 951-0-13223-3.
- (Bud Industries Inc., 2008) Bud Industries Inc.. 2008. SNC-3751-kotelon datalehti. [verkkodokumentti]. [viitattu 11.7.2012]. Saatavilla <http://www.budind.com/pdf/hb3751.pdf>
- (Chastain, 2008) Chastain, L. 2008. Industrial Mechanics and Maintenance. Third edition. New Jersey: Prentice Hall. s. 338. ISBN 978-0-13-515096-2.
- (Childs, 2004) Childs, P. R. N. 2004. Mechanical Design. Second edition. Oxford: Elsevier. s. 358. ISBN 0-7506-5771-5.
- (Kivioja, 1993) Kivioja, S. 1993. Konetekniikka. Tampere: Tammer-Paino Oy. s. 175. ISBN 951-672-177-X.
- (MIL-STD, 1966) Military Standard, 1966, MIL-STD-108E. [verkkodokumentti]. [viitattu 15.6.2012]. Saatavilla http://www.everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-0100-0299/download.php?spec=MIL_STD_108E.1711.pdf
- (NEMA, 2008) NEMA, 2008, NEMA-250-2008 contents and scope. [verkkodokumentti]. [viitattu 15.5.2013]. Saatavilla <https://www.nema.org/Standards/ComplimentaryDocuments/NEMA-250-2008-contents-and-scope.pdf>

- (United States Patent, 2012) United States Patent. 2012. Dust-and-water proof casing. Patenttinumero: US 8,164,899 B2. [verkkodokumentti]. [viitattu 15.7.2012]. Saatavilla <http://www.freepatentsonline.com/8164899.pdf>
- (United States Patent, 1999) United States Patent. 1999. Weatherproof enclosure. Patenttinumero: 5,914,460. [verkkodokumentti]. [viitattu 15.7.2012]. Saatavilla <http://www.freepatentsonline.com/5914460.pdf>
- (United States Patent, 1997) United States Patent. 1997. Water proof casing. Patenttinumero: 5,650,591. [verkkodokumentti]. [viitattu 15.7.2012]. Saatavilla <http://www.freepatentsonline.com/5650591.pdf>
- (SFS, 2000) SFS-Standardi. 2000. SFS-EN 60529 + A1. [verkkodokumentti]. [viitattu 20.6.2012]. Saatavilla <http://sales.sfs.fi/sfs/servlets/ProductServlet?action=productInfo&productID=243473>