

LAITESUOJAN MEKAANISET RAKENTEET, MATERIAALIT JA KOMPONENTIT EMP-SUOJAUKSESSA

Mikko Runtti

Opinnäytetyö

Konetekniikka
Insinööri (AMK)

2024

Konetekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Mikko Runtti	Vuosi	2024
Ohjaaja(t)	DI Petri Kesälahti		
Toimeksiantaja	Conlog Oy		
Työn nimi	Laitesuojan mekaaniset rakenteet, materiaalit ja komponentit EMP-suojauksessa		
Sivumäärä	48 + 13 (Liitteet salattu)		

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia ja kuvata Conlog Oy:n valmistamien laitesuojien mekaaniset rakenteet, komponentit ja materiaalit, joita voidaan käyttää laitesuojien suojaamisessa sähkömagneettista pulssia vastaan. Työn tavoitteena on toimia apuna laitesuojien mekaniikkasuunnittelussa.

Opinnäytetyön tietoperustana käytettiin omaa työkokemusta varustelusta sekä suunnittelusta, aiheeseen liittyvää kirjallisuutta sekä standardeja. Työohjeessa käytettiin lisäksi toimeksiantajan materiaalia liittyen laitesuojiiin.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin selvitys sähkömagneettisesta pulssista, sen syntymisestä ja vaikutuksista sekä keinoista ja ratkaisuista siltä suojautumiseen. Toimeksiantajalle tärkein tulos on työohje, jota voidaan käyttää apuna laitesuojien mekaniikkasuunnittelussa.

Työohje on laadittu toimeksiantajan pohjalle ja sitä on mahdollista tulevaisuudessa päivittää suojausmenetelmien kehittyessä.

Avainsanat	EMC, EMP, laitesuoja, mekaniikkasuunnittelu, sähkömagneettinen pulssi
Muita tietoja	Työhön kuuluu toimeksiantajalle toimitettava työohje mekaniikkasuunnitteluun. Työohjetta ei julkaista.

Mechanical Engineering
Bachelor of Engineering

Author	Mikko Runtti	Year	2024
Supervisor(s)	Petri Kesälahti, M.Sc. (Tech)		
Commissioned by	Conlog Oy		
Title	Shelter mechanical structures, materials and components in EMP shielding		
Number of pages	48 + 13 (Appendices confidential)		

The purpose of this thesis was to investigate and describe the mechanical structures, components and materials of shelters manufactured by Conlog Oy, which can be used to protect shelters against electromagnetic pulse. The aim of the work is to assist in the mechanical design of shelters.

The thesis is based on the knowledge base of the author's own work experience in equipment and design, related literature, and standards. In addition, the client's material related to shelters was used in the work instructions.

The result of the thesis is a study of the electromagnetic pulse, its generation and effects, as well as ways and solutions to protect against it. For the client, the most important result is a work instruction that can be used as an aid in the mechanical design of shelters.

The work instruction has been drawn up on the document template of the client and can be updated in the future as protection methods evolve.

Keywords	EMC, EMP, shelter, mechanical design, electromagnetic pulse
Special remarks	The work includes a work instruction for the mechanical design to be submitted to the client. The manual will not be published.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	8
2	CONLOG OY	9
2.1	System Engineering Solutions 37 AB (SES Group).....	9
2.2	Tuotteet	10
2.2.1	Laitesuojat	10
2.2.2	Erikoisajoneuvot	12
2.2.3	Modifioinnit	13
3	SÄHKÖMAGNEETTINEN PULSSI	15
3.1	Syntyminen	16
3.2	Vaikutukset	18
3.3	Sähkömagneettiselta pulssilta suojautuminen	19
3.3.1	Yleisesti käytetyt materiaalit	19
3.3.2	Suojauksessa yleisesti käytetyt rakenteet	19
4	LAITESUOJAN SUOJAUS SÄHKÖMAGNEETTISTA PULSSIA VASTAAN	23
4.1	Suojauksen vaatimukset.....	23
4.2	EMP-suojauksen huomioiminen mekaniikkasuunnittelussa.....	24
5	HITSAUSKOKKOONPANO	26
5.1	Hitsauksen vaatimukset.....	26
5.2	Materiaalit	26
5.3	Rakenteiden vaatimukset	26
6	LÄPIVIENNIT ERI KÄYTTÖTARKOITUKSIIN	27
6.1	Ilmanvaihto	27
6.2	Läpiviennit EMC/EMP-filttereitä varten	27
6.3	Läpivientien materiaalit.....	28
6.3.1	Alumiini	28
6.3.2	AISI 304/AISI 316	29
6.3.3	Teräkset	29
6.4	Läpivienneissä käytettävät pinnoitteet	29
6.4.1	SurTec.....	30
6.4.2	Iridite NCP	30
6.4.3	Kemiallinen niklaus.....	30

7 LAITESUOJAN SUOJAUKSESSA KÄYTETTÄVIÄ KOMPONENTTEJA	31
7.1 Ovet.....	31
7.2 Luukut.....	32
7.3 Hunajakennot	33
7.4 EMC/EMP-filtterit ja sähkösuotimet	35
8 TIIVISTEET.....	38
8.1 EMP-palkotiivisteet	38
8.1.1 Vaimennuskyky	39
8.1.2 Vaatimukset.....	40
8.2 EMC-tiivisteet	40
8.2.1 Vaimennuskyky	41
8.2.2 Vaatimukset.....	42
9 LOPPUTULOKSET.....	44
10POHDINTA	45
LÄHTEET.....	46
LIITTEET	48

ALKUSANAT

Haluan kiittää Conlog Oy:tä ja suunnittelupäällikkö Ari Jylkkää mielenkiintoisesta opinnäytetyön aiheesta sekä ohjauksesta opinnäytetyön aikana. Tahdon kiittää myös Petri Kesälahtea, joka toimi opinnäytetyöni ohjaajana Lapin AMK:n puolesta.

Ylikiimingissä 28.4.2024

Mikko Runtti

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

EMP	Electromagnetic Pulse
HPM	High Power Microwave
LEMP	Lightning Electromagnetic Pulse
NEMP	Nuclear Electromagnetic Pulse

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön toimeksiantajana on puolustusteollisuuden tuotteita valmistava Conlog Oy ja työn tarkoituksena on tutkia ja kuvata laitesuojan mekaaniset rakenteet, materiaalit ja komponentit, joita voidaan käyttää laitesuojan EMP-suojauksessa. Opinnäytetyön tavoitteena on olla apuna laitesuojien mekaniikkasuunnittelussa.

EMP eli sähkömagneettinen pulssi on sähkömagneettinen aalto, joka vaurioittaa sähkölaitteita ja elektroniikkaa. Toimeksiantajan valmistamat laitesuojat sisältävät usein suuren määrän erilaista elektroniikkaa kuten viestintä- sekä puhelinjärjestelmiä ja niiden suojaaminen sähkömagneettiselta pulssilta on erittäin tärkeää. Laitesuojat muuttuvat koko ajan teknisemmäksi ja niiden sisältämät laitteet lisääntyvät, jonka takia myös laitesuojan EMP-suojauksen toteuttaminen on haastavampaa. Suojausta on tärkeä alkaa miettiä heti mekaniikkasuunnittelun alkuvaiheessa, jotta suunnitteluprosessi saadaan vietyä jouhevasti ja sujuvasti läpi.

Opinnäytetyön teoriaosuuden alussa kerrotaan taustatietoa toimeksiantajayrityksestä sekä yrityksen tuotteista. Teoriaosuudessa tutkitaan sähkömagneettista pulssia ja siltä suojautumista yleisellä tasolla. Osuudessa tutkitaan myös komponentteja ja materiaaleja, joita voidaan käyttää laitesuojan suojaukseen sähkömagneettista pulssia vastaan.

Opinnäytetyön toiminnallisessa osuudessa luodaan toimeksiantajalle EMP-suojauksesta työohje, jota voidaan käyttää apuna laitesuojan mekaniikkasuunnittelussa. Työohje laaditaan Conlog Oy:n työohjepohjalle pohjalle ja se käsittelee tarkemmin toimeksiantajan laitesuojan rakenteita, materiaaleja ja komponentteja. Työohjetta ei julkaista osana opinnäytetyötä koska työohje sisältää toimeksiantajan salassa pidettävää materiaalia.

2 CONLOG OY

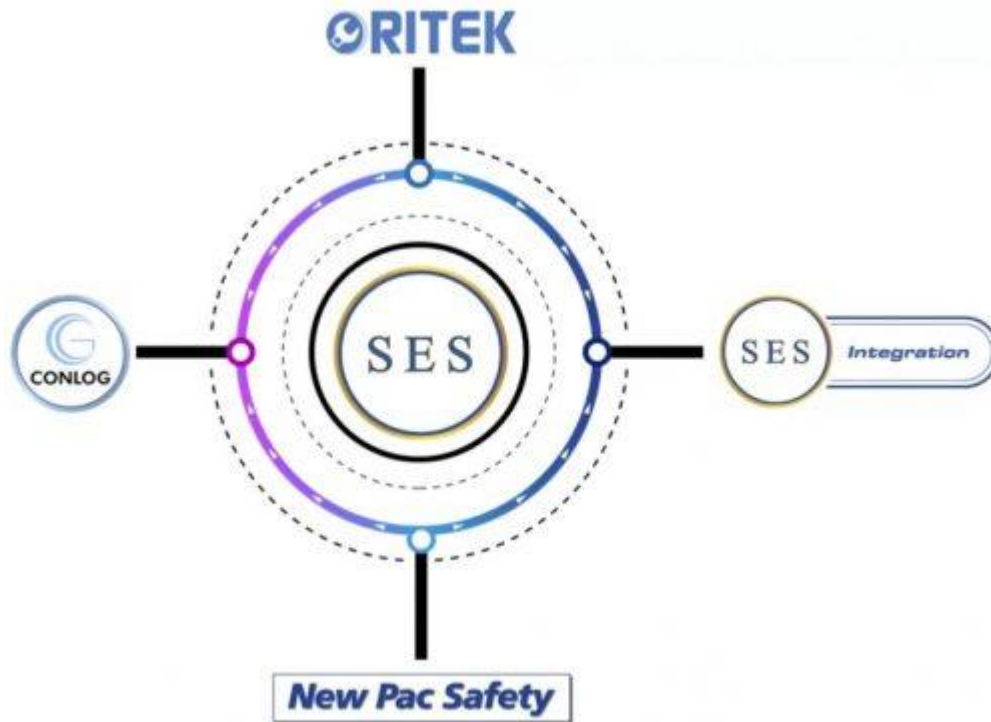
Conlog Oy on perustettu vuonna 1990 Ylikiimingissä. Yritys on vuosia toiminut laajasti turvallisuus- sekä puolustusosalalla ja on toiminut tiiviissä yhteistyössä puolustusvoimien eri aselajien kanssa. Yrityksen päätuotteita ovat erilaiset liikuteltavat ja siirreltävät ratkaisut, esimerkiksi erikoiskontit ja -ajoneuvot. (Conlog Oy 2023f.)

Vuodesta 2020 lähtien mastojärjestelmiä valmistava SK-Lift on ollut Conlog Oy:n tytäryhtiö. SK-Lift on toiminut puolustusteollisuudessa vuodesta 2008 ja yrityksen erikoisosaamista ovat erilaiset hydrauliset mastojärjestelmät. Mastojärjestelmien etuja ovat mm. luotettava toiminta myös ankarissa olosuhteissa sekä nopea pysytys- ja laskuaika. Mastojärjestelmä on usein integroitu Conlog Oy:n valmistamaan laitesuojaan. SK-Lift toimii Pirkkalassa ja Conlog Oy:n muut toimipisteet sijaitsevat Ylikiimingissä ja Rautalammella. (Conlog Oy 2020.) Vuonna 2022 Conlog Oy:n liikevaihto oli 11,6 miljoonaa euroa ja se työllisti 64 henkilöä (Asiakastieto 2022). Conlog Oy on ollut osa ruotsalaista System Engineering Solutions 37 AB:tä vuodesta 2018 lähtien (Conlog Oy 2023f).

2.1 System Engineering Solutions 37 AB (SES Group)

System Engineering Solutions AB:hen kuuluu Conlog Oy:n lisäksi Norjassa toimiva Ritek AS sekä Ruotsissa toimivat New Pac Safety AB ja SES Integration AB (Conlog Oy 2023f).

Ritek AS erikoisalaa ovat raskaan ajoneuvokaluston ylläpito- ja huoltopalvelut sekä kaluston elinkaaripäivitykset. New Pac Safety AB tarjoaa erilaisia suojausratkaisuja kemiallisten-, biologisten- ja radioaktiivisten aineiden aiheuttamia uhkia vastaan. SES Integration AB valmistaa liikuteltavia laitesuojia sekä tarjoaa järjestelmäintegrointeja, elinkaaripäivityksiä ja raskaan ajoneuvokaluston ylläpito- ja huoltopalveluita. (Conlog Oy 2023f.) Kuviossa 1 on kuvattu System Engineering Solutions 37 AB:n yrityskaavio.



Kuvio 1. System Engineering Solutions AB:N yrityskaavio (Conlog Oy 2023f)

2.2 Tuotteet

Conlog Oy suunnittelee ja valmistaa tuotteita puolustus- ja turvallisuusalalle sekä myös siviilipuolelle. Tuotteita ovat mm. erilaiset tulenjohto- ja viestiasemat, työskentely- ja varastokontit sekä erikoisajoneuvot. Yrityksen erikoisosaamista ovat erikoislujat ja ballistisesti suojatut metallirakenteet sekä sähkö- ja informaatiojärjestelmien häiriösuojaus. Tietyt tuotteet soveltuvat myös erittäin vaativiin olosuhteisiin, aina aavikolta arktisiin olosuhteisiin. Yrityksen palveluihin kuuluu myös tuotteiden elinkaaripalvelut sekä erilaiset modernisoinnit ja modifioinnit. (Conlog Oy 2023e.)

Tuotteita löytyy eri käyttötarkoituksiin sekä eri sektoreille, ja ne poikkeavat ominaisuuksiltaan huomattavasti toisistaan. Conlog Oy:n päätuotteita ovat laitesuojat ja erikoisajoneuvot.

2.2.1 Laitesuojat

Kuviossa 2 esitetty Komentopaikka KOPA perustuu 20 jalan konttiin ja sen keskeisiä ominaisuuksia on EMP- ja NBC-suojaus, integroitu voimakonejärjestelmä,

HVAC-järjestelmä sekä helppo käsiteltävyys kuorma-autolla. Komentopaikasta löytyy työskentelytilat viidelle käyttäjälle ja se on suunniteltu vaativiin ympäristöolosuhteisiin (-40- +53 °C). Komentopaikka on lämpöeristetty ja varustettu aktiivisella ja passiivisella suojauskella. (Conlog Oy 2023c.)



Kuvio 2. Komentopaikka KOPA (Conlog Oy 2023c)

Kuviossa 3 esitetty mastollinen laitesuoja on varustettu hydraulisella teleskoopipimastolla ja se kykenee nostamaan mastoon asennetun laitteiston 26 metriin saakka. Laitesuojan ominaisuuksia ovat mm. automaattinen masto- ja taseusjärjestelmä, EMP- ja NBC-suojaus, integroitu voimakonejärjestelmä sekä ilmastoidut työskentelytilat operaattoreille. Masto voidaan varustaa asiakkaan laitteistolla ja sen maksimilatauskuorma on 2000 kg. (Conlog Oy 2023d.)



Kuvio 3. Mastollinen laitesuoja (Conlog Oy 2023d)

2.2.2 Erikoisajoneuvot

Kuviossa 4 esitetty kirjastoauto pohjautuu elementtikorin sekä vakio kuorma-auton yhdistelmään. Elementtirakenteisen kirjastotilan sekä kuorma-auton toiminnot ovat lämmityksen, ilmastoinnin, sähköjärjestelmän sekä energiantuotannon osalta täysin itsenäisiä. Kirjastotila sekä kuorma-auton ohjaamo tarjoavat viihtyisät ja ergonomiset työtilat. (Conlog Oy 2023b.)

Elementtirakenteisen kirjastotilan ja ajoneuvon ohjaamon välinen kulkuväylä on varustettu käyntiovella sekä kirjastotila on esteetön tasaisen lattian sekä invahissin ansiosta. Kirjastoauto on varustettu helmalaatikoille, jotka mahdollistavat erilaisia kuljetus- ja säilytysratkaisuja varusteille sekä apulaitteille. (Conlog Oy 2023b.)



Kuvio 4. Conlog Oy:n valmistama kirjastoauto (Conlog Oy 2023b)

2.2.3 Modifioinnit

Conlog Oy:n erikoisalaa ovat myös laitesuojien ja erilaisten ajoneuvojen modifioinnit.

Yritys modifioi suuren sarjan kuviossa 5 esitettyjä BMP-2 rynnäköpanssarivaunuja. Modifioinnissa uusittiin mm. vaunun radio- ja puhelulaitejärjestelmät sekä tähtäin- ja lämpökamerajärjestelmät. Uuden maastouttamisjärjestelmän ansiosta vaunun häiveominaisuuksia saatiin parannettua myös lämpökameroita vastaan. (Conlog Oy 2023a.)

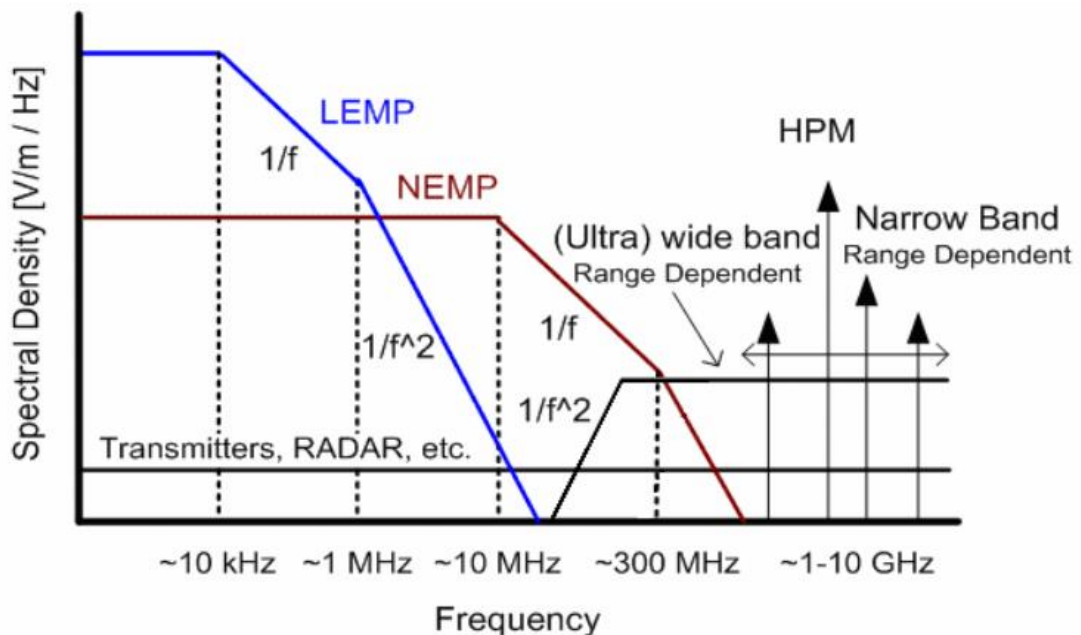


Kuvio 5. Modernisoitu BMP-2 rynnäköpanssarivaunu (Conlog Oy 2023a)

3 SÄHKÖMAGNEETTINEN PULSSI

EMP eli sähkömagneettinen pulssi tarkoittaa lyhytaikaista laajakaistaista sähkömagneettista säteilyä, joka lähetetään suurienergisenä ja kertaluonteisena kompensointiprosessina. Prosessissa energinen ja voimakkaasti kiihdytetty järjestelmä hajoaa perustilaan ja sen seurauksena lähettää sähkömagneettisen pulssin. EMP on ohimenevä tapahtuma ja sen olennainen ominaisuus on nousta maksimiarvoon hyvin lyhyessä ajassa ja sen jälkeen laskea verrattain hitaasti tasaiseen arvoon. Sähkömagneettisen pulssin voi aiheuttaa sähköstaattisen latautumisprosessi, kuten ydinräjähdys maan ilmakehän yläpuolella sekä ukkosmyrsky, mutta prosessia voi esiintyä myös tietyissä virtapiireissä. Erittäin lyhytkestoisien ja suuritehoisten sähkömagneettisten pulssien voi synnyttää myös HPM-aseella (High Power Microwave). (Opperman 2023.)

HPM-pulssi vaikuttaa huomattavasti kapeammalla ja korkeammalla radioalueella kuin ydinräjähdysten tai salaman aiheuttama pulssi (kuvio 6).



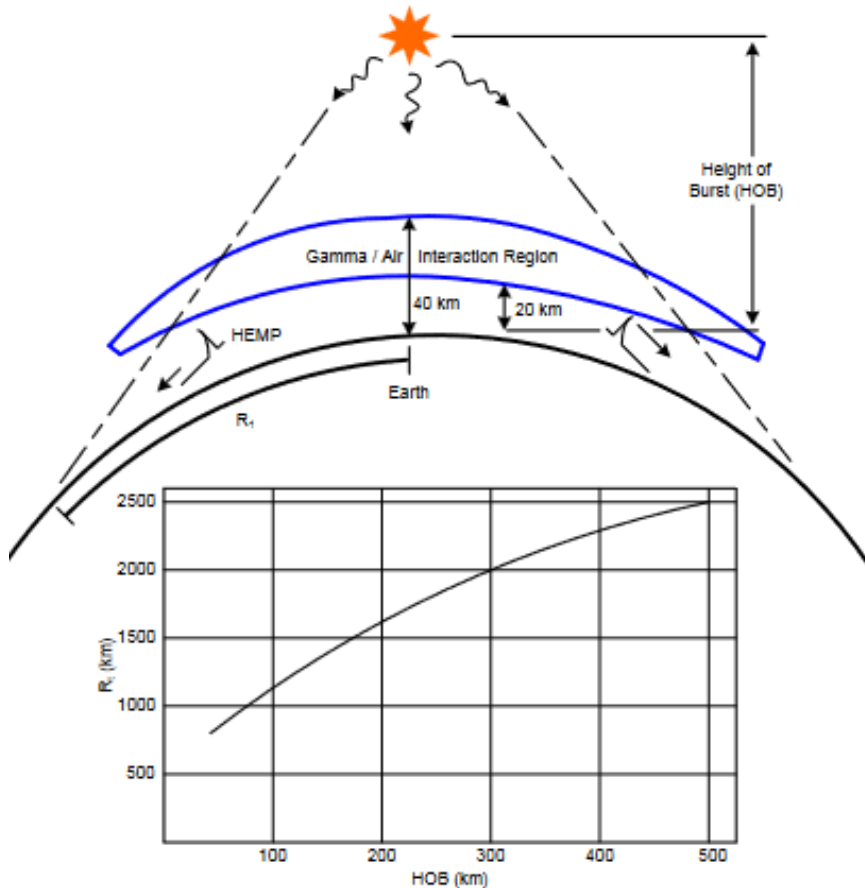
Kuvio 6. Pulssien vaikutusalueet (AECTP-250 2011, 256–8)

3.1 Syntyminen

Sähköstaattisesti varattujen komponenttien kipinäpurkauksen aikana voi syntyä virtoja ja jännitteitä, jotka yhdistyvät sähkö- ja magneettikenttiin ja sen seurauksena syntyy sähkömagneettinen pulssi. Sähkömagneettisessa pulssissa sähkömagneettinen energia purkautuu voimakkaasti, joka johtuu yleensä varattujen hiukkasten äkillisestä kiihtymisestä. (Opperman 2023.)

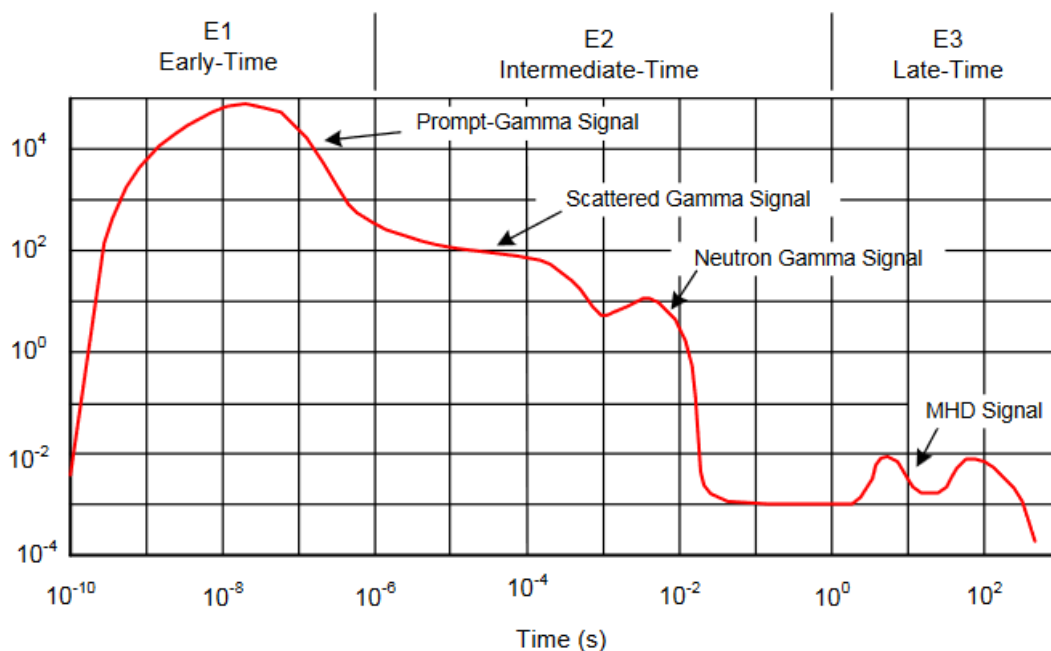
Salama on luonnollinen sähköpurkaus, joka tapahtuu ilmakehässä. Salaman synnyttämän sähköpurkauksen ja magneettikentän synnyttämästä sähkömagneettisesta pulssista käytetään nimitystä LEMP (Lightning Electromagnetic Pulse). (Opperman 2023.)

NEMP (Nuclear Electromagnetic Pulse) eli ydinsähkömagneettinen pulssi on paljon nopeampi tapahtuma kuin LEMP ja se voi saavuttaa noin 90 prosenttia maksimiarvostaan jopa neljässä nanosekunnissa. NEMP laukeaa satojen kilometrien korkeudessa maan ilmakehän yläpuolella voimakkaan gammasäteilyn sekä Comptonin-ilmiön seurauksena (kuvio 7). Comptonin-ilmiössä fotoni luovuttaa osan energiastaan elektronille, jonka seurauksena sähkömagneettisen säteilyn aallonpituus kasvaa. Suurienergisestä gammasäteilyn vaikutuksesta maan ilmakehän ylimmissä kerroksissa olevissa molekyyleissä tapahtuu äkillinen ionisaatio ja molekyylit muuttavat suuntaa. Suuren energian vuoksi osa vapaista elektroneista lisäävät törmäysionisaatiota, jonka seurauksena sekundaarielektronien määrä kasvaa. Ilmakehän ylimpien kerrosten virta- ja varausjakauma muuttuu aiheuttaen ohimenevän laajakaistaisen aaltokentän, joka aiheuttaa sähkömagneettisen pulssin. (Opperman 2023.)



Kuvio 7. Havainnekuva NEMP:istä ja sen mahdollisesta vaikutusalueesta (AECTP-250 2011, 256-3)

NEMP voidaan jakaa kolmeen vaiheeseen, joita kutsutaan termeillä E1, E2 ja E3 (kuvio 8). E1 on elektromagneettisen pulssin ensimmäinen vaihe ja se kasvaa maksimiarvoonsa noin viidessä nanosekunnissa, puolittuu 200 nanosekunnissa ja loppuu 1000 nanosekunnissa. E1 tuottaa suuren mutta lyhytaikaisen sähkömagneettisen pulssin, joka vahingoittaa erityisesti viestintälaitteita sekä tietokoneita. E2 vaihe kestää yhdestä millisekunnista sekuntiin ja siinä on paljon samoja ominaisuuksia kuin LEMP:issä, se on myös helpoiten torjuttavissa johtuen kehittyneestä suojauksesta salamoita vastaan. E3 vaihe kestää kymmenistä sekunneista jopa satoihin sekunteihin ja se voi tuottaa geomagneettisen myrskyn tavoin geomagneettisesti indusoituja virtoja. E3 voi vahingoittaa esimerkiksi sähkölinjojen muuntajia. (European Defence Agency 2024.)



Kuvio 8. NEMP:in vaiheet E1, E2 ja E3 (AECTP-250 2011, 256–5)

HPM-aseella luodun pulssin vaikutus ulottuu metreistä jopa useisiin kilometreihin. On mahdollista rakentaa generaattori, jolla voidaan luoda HPM-pulsseja mutta laitteiston koko tulisi olemaan erittäin suuri. Käyttämällä erillistä käämilaitteistoa voimakkaassa kemiallisessa räjähdyksessä on mahdollista luoda voimakas HPM-pulssi, jonka vaikutus voi ulottua jopa useiden kilometrien päähän. Laitteiden suojaus HPM-pulsseja vastaan on haastavaa johtuen pulssin lyhyestä aaltomuodosta etenkin korkeilla taajuuksilla. (European Defence Agency 2024.)

3.2 Vaikutukset

Sähkömagneettinen pulssi ei aiheuta suoraa uhkaa terveydelle mutta se voi vaikuttaa terveydenhuoltoon ja terveyteen liittyviin laitteisiin (Radiation Emergency Medical Management 2024).

Sähkömagneettisen pulssin voimakkaat sähkö- ja magneettikentät voivat vahingoittaa suojaamattomia elektronisia laitteita laajalla alueella. Mahdolliset laajat häiriöt vaikeuttavat viestinnän, tietokoneiden ja tietokonejärjestelmien toimintaa, mukaan lukien sairaalat, huoltoasemat, rautatieliikenne ja vesi- sekä koko sähköjärjestelmä. Vaikutukset tulisivat olemaan erittäin laajat johtuen yhteiskunnan riippuvuudesta erilaisista elektronisista järjestelmistä. Ongelmat ajoneuvojen

kanssa ovat myös mahdollisia johtuen ajoneuvojen elektroniikan vioittumisesta. (Radiation Emergency Medical Management 2024.)

3.3 Sähkömagneettiselta pulssilta suojautuminen

Kriittisten järjestelmien suunnittelussa ja toiminnassa suojaus sähkömagneettista pulssia vastaan on erittäin tärkeää, jotta varmistetaan järjestelmän toiminnasta pulssin tapahtuessa. Elektronisten järjestelmien suunnittelu sisäänrakennetuilla ylijännite- ja suojausmekanismeilla lieventää sähkömagneettisen pulssin vaikutuksia. Laitteiden asianmukaisesti toteutettu maadoitus voi auttaa hävittämään ylimääräisen energian ja vähentää vaurioriskiä. Järjestelmien ja laitteiden sijoittaminen koteloiden tai Faradayn häkkeihin antaa suojaa sähkömagneettisia häiriöitä vastaan. (Small 2024.)

3.3.1 Yleisesti käytetyt materiaalit

EMP-suojauksessa käytettävillä materiaaleilla on yleensä hyvä johtavuus, suuri magneettinen läpäisevyys ja ne pystyvät ohjaamaan ja estämään säteilyä tehokkaasti. Kuparilla on erinomaiset johtavuusominaisuudet, joten se sopii erittäin hyvin sähkömagneettiseen suojaukseen. Alumiini on myös yleisesti käytetty materiaali keveytensä ansiosta. Alumiini ei ole yhtä johtavaa kuin esimerkiksi kupari ja sitä käytetään usein yhdessä muiden materiaalien kanssa. Teräksistä erityisesti ferriittinen teräs soveltuu suojaukseen erinomaisesti johtuen korkeasta magneettisesta permeabiliteetista mutta olosuhteet on otettava huomioon korroosionkestävyyden kannalta. Sinkittyä terästä käytetään paljon johtuen sen edullisuudesta ja korroosionkestävyydestä. Ruostumatonta terästä myös käytetään suojauksessa huolimatta sen korkeasta hinnasta. (Small 2024.)

3.3.2 Suojauksessa yleisesti käytetyt rakenteet

Suojattua palvelinkaappi käytetään yleisesti, jos suojausta tarvitsee vain tietyt laitteet tai komponentit eikä niiden määrä ole kovin suuri. Palvelinkaappi voidaan suunnitella myös siirrettäväksi ratkaisuksi. (Paki, Mahmood, Talbot, Platt, Centeno, Schoonover, Cohen, Robertshaw & Trovato 2022, 3.)

Kuviossa 9 kuvattu EMP- suojattu palvelinkaappi.



Kuvio 9. Esimerkki EMP-suojatusta palvelinkaapista (Paki, Mahmood, Talbot, Platt, Centeno, Schoonover, Cohen, Robertshaw & Trovato 2022, 3)

Erilaisia laitesuojia käytetään, kun tarvitaan palvelinkaappia enemmän tilaa. Suojat voivat olla kiinteitä tai liikuteltavia sekä tietyissä tapauksissa niitä voidaan yhdistää. Laitesuojiiin on useasti rakennettu myös HVAC- sekä voimakonejärjestelmät. (Paki, Mahmood, Talbot, Platt, Centeno, Schoonover, Cohen, Robertshaw & Trovato 2022, 4.)

Kuviossa 10 esitettynä EMP-suojattu laitesuoja.



Kuvio 10. EMP-suojattu laitesuoja (Paki, Mahmood, Talbot, Platt, Centeno, Schoonover, Cohen, Robertshaw & Trovato 2022, 4)

Erilaisten sähköhuoneiden, verkko- ja serverikeskusten kohdalla on tarpeen suojata erillinen huone tai jopa koko rakennus. Ne voidaan suunnitella osaksi uusia rakennuksia tai rakentaa jo olemassa olevaan rakennukseen kuten kuviossa 11 on esitetty. Suojaavana materiaalina on yleensä käytetty terästä tai johtavaa betoniteräs- hybridiseosta. Ratkaisuna haastava ja rakennuskustannukset ovat korkeat. (Paki, Mahmood, Talbot, Platt, Centeno, Schoonover, Cohen, Robertshaw & Trovato 2022, 5.)



Kuvio 11. EMP-suojattu huoneita (European EMC Products 2024)

4 LAITESUOJAN SUOJAUS SÄHKÖMAGNEETTISTA PULSSIA VASTAAN

Conlog Oy:n valmistamat laitesuojat sisältävät usein suuren määrän elektroniikkaa, joiden toiminta täytyy varmistaa myös sähkömagneettisen pulssin tapahtuessa. Laitesuojaissa voi olla myös integroitu voimakonejärjestelmä, jonka toiminta on välttämätöntä laitesuojan kokonaistoiminnan kannalta. Laitesuojan rakenteita ja suojausta käsitellään tarkemmin tämän opinnäytetyön toiminnallisessa työohjeisuudessa.

4.1 Suojauksen vaatimukset

EMP-suojauksen vaatimukset tulevat asiakkaalta ja yleensä ne pohjautuvat suoraan eri standardeihin, esimerkkinä MIL-STD-285 ja MIL-STD-461. Vaatimuksissa voi olla myös vaadittu korotettuja vaimennusarvoja tietyillä taajuuksilla.

EMP-suojaus vaimennus on tärkeää mitata hitsaus- sekä varusteluvaiheessa. Mittaukset on mahdollista suorittaa kannettavalla mittauslaitteistolla (kuvio 12).



Kuvio 12. Kannettava EMP-mittauslaitteisto. Mittaukset mahdollista suorittaa standardien MIL-STD-285, NSA 65-6 sekä IEEE STD-299 mukaan (MDL Technologies Limited 2024)

Asiakas voi tehdä myös omat mittauksensa valmiille laitesuojalle tai vaatia että laitesuoja käy ulkopuolisessa testauslaboratoriossa. Kattava testauslaitteisto löytyy Ruotsista ja laitteistolla on mahdollista tehdä järjestelmätason testejä suurille kokonaisuuksille (kuvio 13). Laitteistolla on mahdollista testata EMP-suojauksen lisäksi järjestelmän sähkömagneettinen yhteensopivuus eli EMC ja EMI- testaukset. (FMV Test & Evaluation 2024.)



Kuvio 13. Linköpingissä sijaitseva FMV:n testauslaitteisto (FMV Test & Evaluation 2024)

4.2 EMP-suojauksen huomioiminen mekaniikkasuunnittelussa

EMP-suojaus on huomioitava jo mekaniikkasuunnittelun alkuvaiheessa ja on tärkeää tehdä yhteistyötä sähkö- ja HVAC-suunnittelijoiden kanssa koko suunnitteluprosessin ajan. Laitesuojan ominaisuuksiin voi EMP-suojauksen lisäksi kuulua NBC-suojaus, automatisoitu ilmastointijärjestelmä, integroitu voimakonejärjestelmä sekä erilaiset sähkö- ja tietoliikennejärjestelmät ja nämä kaikki tulee ottaa mekaniikkasuunnittelussa huomioon (Conlog Oy 2023d).

Olellnaista on mieltiä eri järjestelmien komponenttien sekä niiden vaatimien läpivientien sijoitukset. Valittaessa EMP-suojauksen mekaanisia komponentteja tulee tarkistaa, että ne täyttävät suojausvaatimukset. Suunnittelussa tehdyissä ratkaisuisa tulisi pyrkiä helpottamaan ja minimoimaan myöhemmin tuotannossa tehtävä työ, niin hitsaus- kuin varusteluvaiheen osalta.

5 HITSAUSKOKKOONPANO

EMP-suojauksen vuoksi on tärkeää, että hitsauskokoonpanolle asetetut vaatimukset täyttyvät. Laadukkaasti tehty työ hitsauskokoonpanon suhteen sujuvoittaa myöhemmin tehtävää varusteluvaihetta huomattavasti.

5.1 Hitsauksen vaatimukset

Kaikki EMP-rajapintojen hitsit täytyy olla 100 % hitsattuja eikä hitseissä saa olla reikiä tai katkoksia. Työpiirustuksiin määritellään selkeät hitsausmerkinnät ja tarvittaessa hitsausohjeet. Hitseille tehdään visuaalinen tarkastus sekä olisi suotavaa tehdä myös EMP-mittaus koko hitsauskokoonpanolle. EMP-mittauksesta täytetään pöytäkirja myöhempää dokumentointia varten. (Conlog Oy 2015.)

5.2 Materiaalit

Laitesuojan teräsvaiheen materiaalivalinnoissa täytyy ottaa huomioon asiakkaan asettamat vaatimukset ballistiselle suojaukselle. Jos vaatimusta ei ole, niin tavalliset rakenneteräkset käyvät laitesuojan runkomateriaaleina.

Hitsatuissa EMP-rajapinnoissa täytyy huomioida materiaalien sähkönjohtavuus sekä korroosionkesto. Läpivientien hitsattuihin kehysrakenteisiin sopivia materiaaleja ovat ruostumaton sekä haponkestävä teräs. (Conlog Oy 2015.)

5.3 Rakenteiden vaatimukset

EMP-suojaus tuo hitsatuille rakenteille tiettyjä vaatimuksia, jotka tulee täyttyä. Rakenteet tulee tarkastaa hitsausvaiheessa, koska myöhemmässä vaiheessa niiden korjaaminen on vaikeaa, kallista sekä lopputuotteen laatu voi kärsiä korjauksista.

Tarkkuutta vaativat kohteet ovat ennen kaikkea EMP-suojauksen rajapinnat. Tärkeimpiä vaatimuksia ovat rajapintojen mittatarkkuus sekä pintojen suoruudet. (Conlog Oy 2015.) Mekaniikkasuunnittelija määrittelee työpiirustuksiin raja-arvot mitoille sekä pintojen suoruuksille.

6 LÄPIVIENNIT ERI KÄYTTÖTARKOITUKSIIN

Sähkömagneettiselta pulssilta suojatussa laitesuojassa on usein tarpeen käyttää erilaisia läpivientejä EMP-suojauksen rajapinnoissa. Tyypillisimpiä näistä ovat ilmanvaihdon sekä kaapeloinnin läpiviennit. (Conlog Oy 2015.)

6.1 Ilmanvaihto

Hunajakennoa käytetään yleisesti ilmanvaihdon läpivientinä EMP-rajapinnassa. Hunajakennon mitoituksessa täytyy ottaa huomioon vaaditun ilmamäärän lisäksi myös vaimennusvaatimukset. Riittävän ilmamäärän varmistamiseksi hunajakennon valmistajalta on mahdollista saada tarvittavat ilman virtausarvot, joilla hunajakennon koko pystytään määrittelemään. (Conlog Oy 2015.)

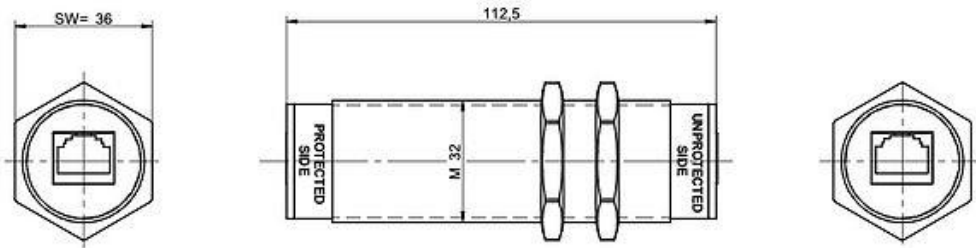
Hunajakennojen suhteen olisi suotavaa käyttää valmiita kaupallisia ratkaisuja ja niitä löytyy useaa eri mallia ja kokoa. Hunajakennoja käsitellään tarkemmin tämän työn luvussa 7.3.

6.2 Läpiviennit EMC/EMP-filttereitä varten

Kaikki suojattuun tilaan menevä kaapelointi täytyy viedä EMC/EMP-filtterien kautta ja ne ovat suositeltavaa sijoittaa erilliseen läpivientilevyyn. Erillinen läpivientilevy on helppo vaihtaa tai päivittää tulevaisuudessa, jos esimerkiksi antennikaapelit muuttuisivat. Sähkösuunnittelusta tulee tieto filttereiden mallista ja määrästä ja näiden tietojen mukaan lähdetään suunnittelemaan läpivientilevyt. (Conlog Oy 2015.)

Filtterien mallit ja määrät voivat vaihdella laitesuojan mukaan. Filttereistä löytyy mittakuvat (kuvio 14) joiden mukaan levyjen rei'itykset mallinnetaan.

Dimensions [mm]



Use always 1-2, 3-6, 4-5 and 7-8 as wire pairs (same as in standard Ethernet connections)

Kuvio 14. Esimerkkinä mittakuva Ethernet-filtteristä (Nova CBRN Technologies Pvt. Ltd. 2023)

6.3 Läpivientien materiaalit

Läpivientilevyjen ja -paneelien materiaalien tärkeimpiä ominaisuuksia ovat sähkönjohtavuus, korroosionkesto sekä korkea magneettinen permeabiliteetti. Materiaalia valittaessa tulee ottaa huomioon olosuhteet, joille läpivienti altistuu. (Small 2024.)

Materiaalia valittaessa on hyvä ottaa huomioon myös ratkaisun kustannukset. Käytettäessä materiaalia, joka vaatii pinnoitteen kestääkseen olosuhteet, tulee puolestaan ratkaisun kustannukset nousemaan. Pinnoitusvaihtoehtoja on esitelty luvussa 6.4.

6.3.1 Alumiini

Alumiinin etuja ovat hyvä sähkönjohtavuus, keveys, helppo muovattavuus sekä painoon suhteutettuna hyvä mekaaninen lujuus. Käytettäessä alumiinia on syytä valita 6000-sarjan alumiini, jonka korroosionkestävyyttä on saatu parannettua lisäämällä alumiiniseokseen piitä ja magnesiumia. (Alumeco Finland Oy Ab 2024a.)

Alumiiniin voi alkaa ilmestymään galvaanista korroosiota, jos se on kosketuksissa itseään jalomman metallin kanssa, esimerkiksi sinkki tai kupari. Galvaaninen korrosio aiheuttaa hapettumaa alumiinin pintaan ja sen takia sähkönjohtavuus heikkenee. Galvaanisen korroosion välttämiseksi alumiinin kanssa suositellaan käytettäväksi haponkestävästä teräksestä valmistettuja kiinnitystarvikkeita. (Alumeco Finland Oy AB 2024b.)

6.3.2 AISI 304/AISI 316

Ruostumaton teräs AISI 304 sekä haponkestävä teräs AISI 316 ovat toimivia materiaaleja käytettäväksi läpivientilevyissä- ja paneeleissa. Etuja ovat hyvä korrosionkestävyys ja sähkönjohtavuus.

Ruostumattoman teräksen korrosionkestävyys perustuu kromiin, joka reagoi hapen kanssa muodostaa teräksen pinnalle suojaavan kalvon. Haponkestävä teräs saadaan lisäämällä ruostumattoman teräksen sekaan molybdeeniä. (Arifin Oy 2024.)

6.3.3 Teräkset

Puhdasta rakenneterästä ei suositella käytettäväksi läpivienneissä johtuen huonosta korrosionkestävyydestä. Teräkselle toimiva pinnoite on esimerkiksi luvussa 6.4.3 esitelty kemiallinen niklaus.

Tietyissä rajoissa läpivienneissä on mahdollista käyttää sinkittyä terästä. Sinkitystapoja ovat kuuma- ja sähkösinkitys.

6.4 Läpivienneissä käytettävät pinnoitteet

Läpivientipaneeleissa ja -levyissä on huomioitava hyvä korrosionkestävyys ja sähkönjohtavuus. Pinnoitettavan kappaleen maksimitat vaihtelevat eri toimijoilla.

Alumiinille tyypillisimpiä pinnoituksia on erilaiset anodisoinnit, kuten SurTec ja Iridite NCP. Teräkselle yksi pinnoitustapa on niklaus.

6.4.1 SurTec

Surtec on kemiallinen pinnoitusprosessi, joka muodostaa lähes värittömän passivointikerroksen. Passivointia voidaan käyttää pinnan viimeistelyyn tai esikäsitelyynä maalaukselle. (Metalli Piironen Oy 2024a.)

Pinnoite antaa kappaleelle hyvän korroosionkestävyyden mutta ei laske kappaleen sähkönjohtavuutta. SurTec sisältää kromia ja pinnoitteena sitä käytetään laajasti elektroniikka- ja ilmailuteollisuudessa. (Metalli Piironen Oy 2024a.)

6.4.2 Iridite NCP

Iridite NCP on kemiallinen pinnoitusprosessi, joka sisältää kromin sijaan fluoria, happea ja alumiinia. Pinnoite sopii korroosionkestävyyden parantamisen lisäksi esikäsitteilyksi maalaukselle eikä se huononna kappaleen sähkönjohtavuutta. (Metalli Piironen 2024a.)

Pinnoitteen sävy voi vaihdella paljonkin riippuen kerrosvahvuudesta. Yleisimmät sävyt ovat kirkas, pronssinen, punertava tai sinertävä. (Metalli Piironen Oy 2024a.)

6.4.3 Kemiallinen niklaus

Pinnoitteena kemiallinen niklaus on tasainen ja se kestää hyvin mekaanista kulutusta. Se soveltuu messingille, teräkselle sekä alumiinille. (Metalli Piironen 2024b.)

Väritään pinnoite on kellanvalkoinen ja kiilto voi vaihdella. Kemiallinen niklaus parantaa korroosionkestävyyttä ja se myös parantaa kappaleen sähkönjohtavuutta. (Metalli Piironen Oy 2024b.)

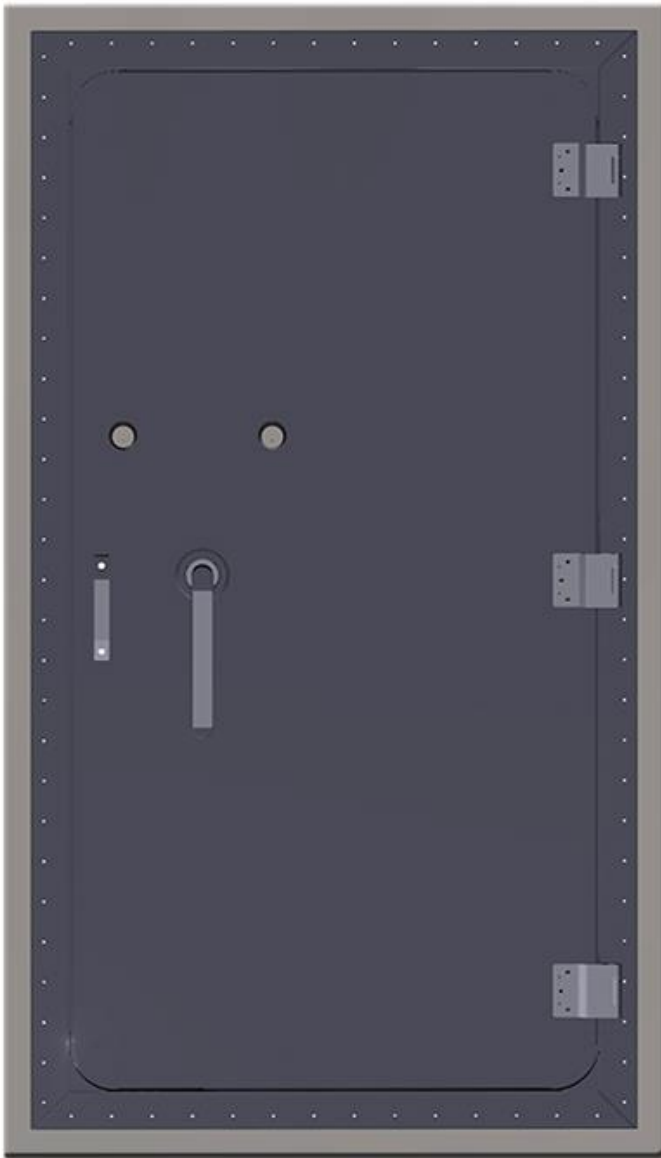
7 LAITESUOJAN SUOJAUKSESSA KÄYTETTÄVIÄ KOMPONENTTEJA

EMP-suojaukseen on olemassa laaja valikoima valmiita kaupallisia komponentteja. Valmiiden komponenttien käyttö olisi helpointa ja se nopeuttaisi ja sujuvoittaisi suunnittelutyötä mutta aina se ei ole mahdollista. Luvussa käydään läpi yleisimpiä valmiita kaupallisia komponentteja.

7.1 Ovet

Valmiita kaupallisia EMP-ovia on olemassa ulko- sekä sisäkäyttöön. Sisäkäyttöön tarkoitettua ovea käytettäessä täytyy käyttää myös sääsuojaovea ja ratkaisuna se on tilaa vievä ja raskas. On suositeltavaa käyttää ulkokäyttöön tarkoitettua EMP-ovea, jos se täyttää asiakkaan vaimennusvaatimukset.

Kuviossa 15 esitetty Haukiputaalla sijaitsevan Ocotec Oy:n suunnittelema ja valmistama EMP-suojattu käyntiovi. Tiiveysluokaltaan ovi on IP55 ja se on mahdollista varustaa Abloyn turvalukolla tai vaihtoehtoisesti sähkölukolla. Ovi on suunniteltu ulkokäyttöön ja sen käytettävyyteen, toimivuuteen ja huoltoon on kiinnitetty erityistä huomiota. Ovi on suojattu murtautumista vastaan ja se on varustettu aukipitölaitteella. Oven vaimennuskyky on mitattu MIL-STD-285 standardin mukaan ja se täyttää vaimennuksen >60 desibeliä. Ovea voidaan valmistaa eri kokoisena ja värisenä asiakkaan tarpeen mukaan. (Ocotec Oy 2024.)



Kuvio 15. Ocotec Oy:n valmistama EMP-suojattu käyntiovi (Ocotec Oy 2024)

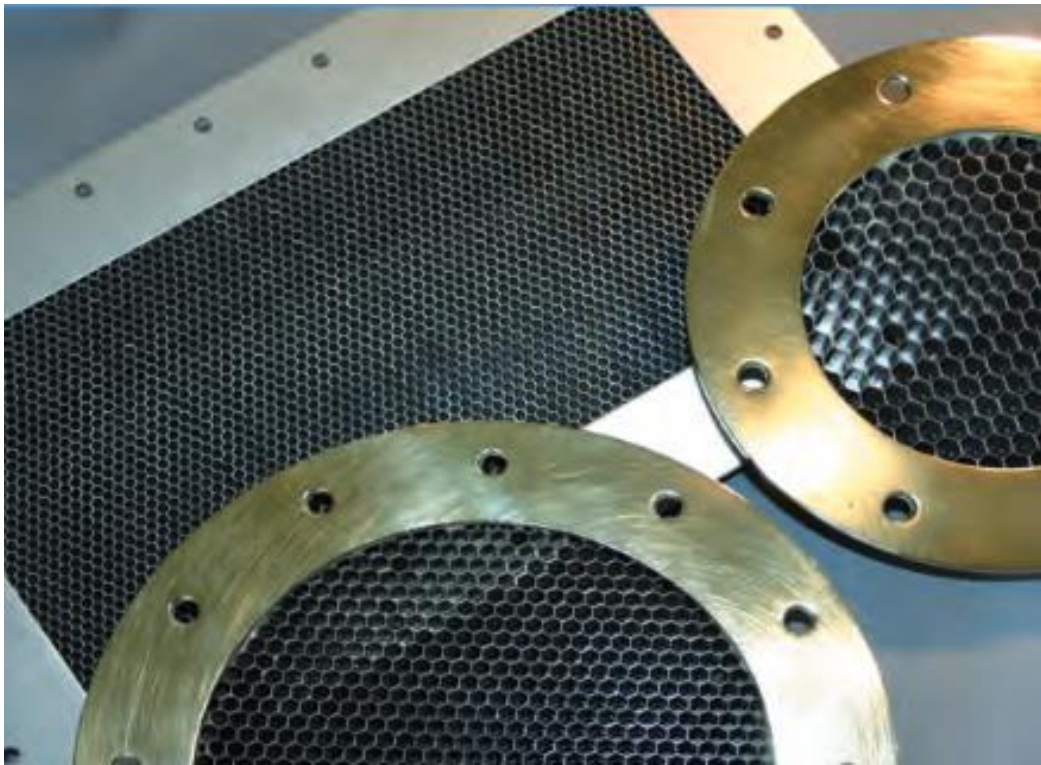
7.2 Luukut

Laitesuojassa käytettävät EMP-suojatut luukut ovat käytännössä aina toimeksiantajan suunnittelemia. Luukuista on suunniteltu usea eri malli, joita laitesuojassa käytetään.

Johtuen toimeksiantajan omista luukkumalleista niitä ei voida tässä esittää. Luukuja käsitellään tarkemmin työn liitteenä olevassa työohjeessa.

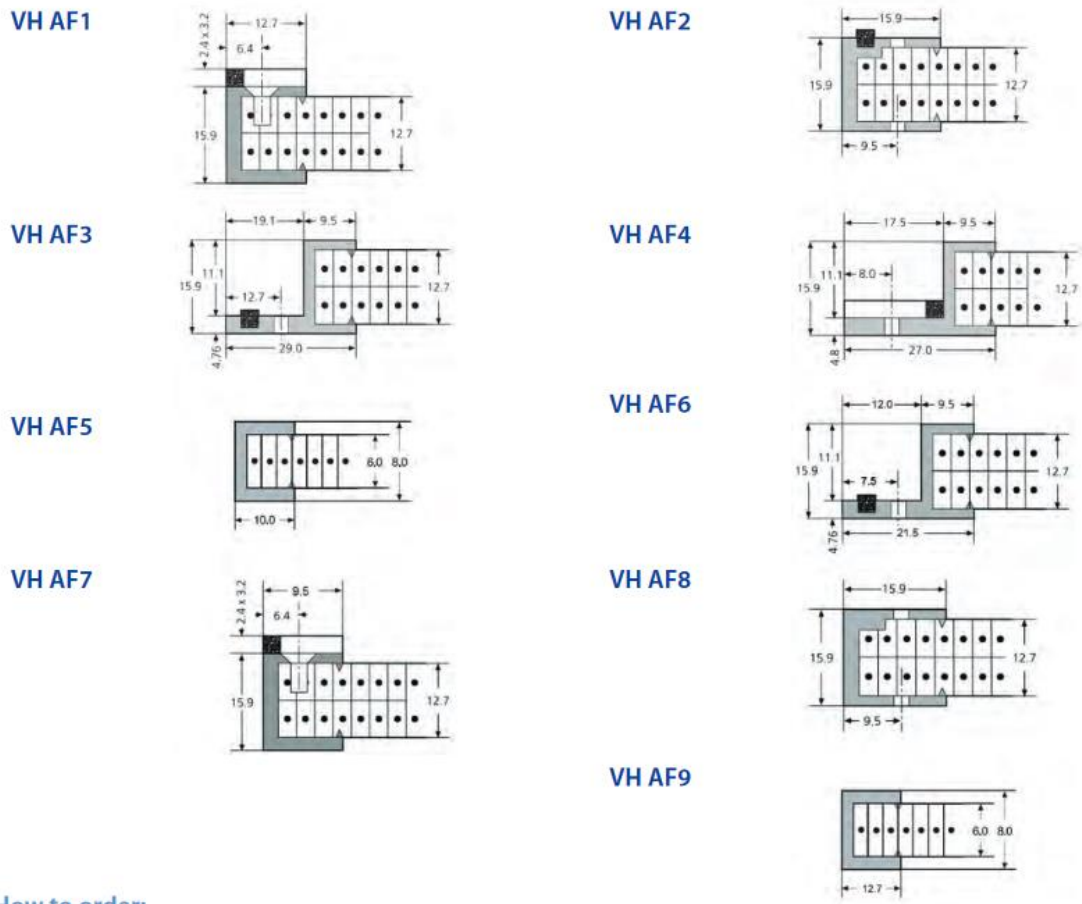
7.3 Hunajakennot

EMP-suojatuissa rakenteissa ilmanvaihdossa käytetään hunajakennoratkaisua (kuvio 16). Valmiita hunajakennoja löytyy useilta eri valmistajilta.



Kuvio 16. Valmiita kaupallisia hunajakennoratkaisuja (Q-Flex 2024, 18)

Kennoja valmistetaan eri materiaaleista kuten messinki, teräs, ruostumaton teräs ja alumiini. Kennoja on mahdollista saada erilaisilla kehysrakenteilla (kuvio 17) ja kokoisena ja niiden koko täytyy aina valita vaaditun ilmamäärän mukaan.



[Lisä tiedot](#)

Kuvio 17. Kaupallisten hunajakenttien kehysrakenteita (Q-Flex 2024, 15)

Hunajakenttää valittaessa täytyy ottaa huomioon myös EMP-suojauksen vaimennusvaatimukset. Vaimennukseen vaikuttaa hunajakentän materiaali, vahvuus sekä kentän reikien koko (taulukko 1). (Q-Flex 2024, 18)

Taulukko 1. Hunajakennon vaimennusarvot eri taajuuksilla (Q-Flex 2024, 18)

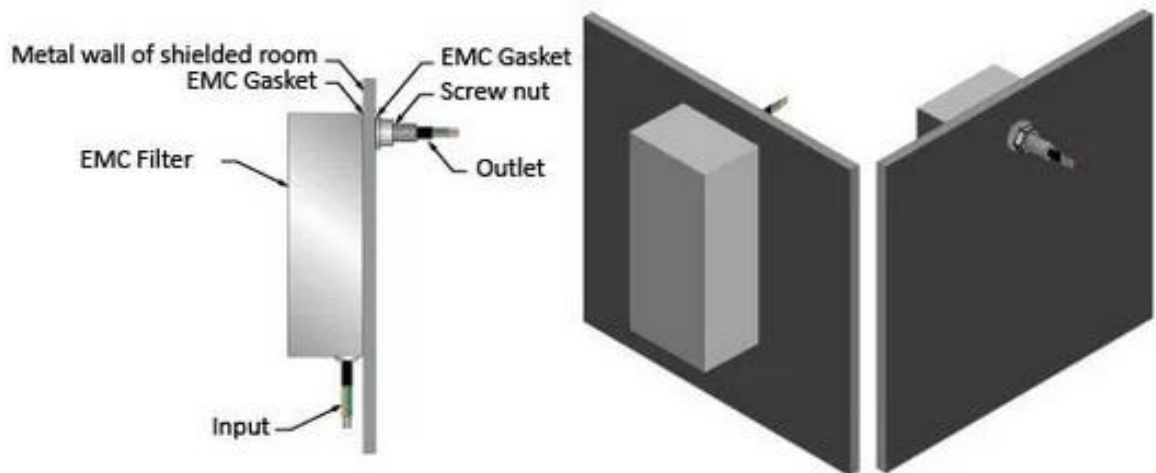
FREQUENCY	FIELD	BRASS	BRASS	BRASS	STEEL	STEEL	STEEL	S/STEEL	S/STEEL	S/STEEL
		3.2mm Cell 12.7mm Thick	3.2mm Cell 25.4mm Thick	4.8mm Cell 25.4mm Thick	3.2mm Cell 12.7mm Thick	3.2mm Cell 25.4mm Thick	4.8mm Cell 25.4mm Thick	3.2mm Cell 12.7mm Thick	3.2mm Cell 25.4mm Thick	4.8mm Cell 12.7mm Thick
1 KHz	H	13	25	20	16	30	29	16	30	29
10 KHz	H	38	80	70	50	85	72	50	85	72
100 KHz	H	80	100	95	90	118	108	90	118	108
1 MHz	H	105	110	110	110	118	115	110	118	115
10 MHz	H	105	110	110	110	118	115	110	118	115
1 KHz	E	110	110	110	110	111	111	110	111	111
10 KHz	E	115	115	115	115	115	115	115	115	115
100 KHz	E	115	120	120	115	120	120	115	115	120
1 MHz	E	115	120	120	115	120	120	115	115	120
10 MHz	E	115	120	120	115	120	120	115	115	120
100 MHz	P	115	130	130	115	130	130	115	115	130
400 MHz	P	115	130	130	115	130	130	115	115	130
1 GHz	P	105	120	120	105	120	120	105	105	120
10 GHz	P	105	120	120	105	120	120	105	105	120

Note: Performance will be affected by the type of mounting used. Figures based on 300mm x 300mm test pieces.

Hunajakennon materiaalia valittaessa täytyy ottaa huomioon olosuhteet mihin kenno tulee ja materiaalin korroosionkestävyys. Valmiita hunajakennoja löytyy pyöreinä, kantikkaina sekä valmistetaan myös asiakkaan mittojen ja piirustusten mukaan. (Q-Flex 2024, 18)

7.4 EMC/EMP-filtterit ja sähkösuotimet

Laitesuojassa EMP-suojauksen rajapinnoissa sähkönsyöttö toteutetaan valittujen sähkösuotimien läpi (kuvio 18). Sähkösuunnittelija mitoittaa ja valitsee käytettävät suotimet ja filtterit.



Kuvio 18. Sähkösuotimen periaate kuvattu EMP-rajapinnassa (Holland Shielding Systems BV 2024a)

Suotimia ja filttareita käytetään sähkö-, signaali ja antennijärjestelmissä häiriöiden poistoon ja ne voivat toimia kahteen suuntaan. Niillä voidaan suojata laitteisto ulkopuolisilta häiriöiltä sekä ympäristö laitteistosta mahdollisesti tulevilta häiriöiltä. (Spectrum Control 2024.)

Myös kaikissa signaali- ja antenniläpivienneissä täytyy käyttää filttareita, kun mennään EMP-rajapinnan läpi. Laitesuojassa voi olla useaa erityyppistä filttaria (kuvio 19) riippuen mitä rajapinnan läpi viedään ja niiden määrä vaihtelee.



Kuvio 19. Rajapinnassa käytettävä Ethernet-filtteri (Nova CBRN Technologies Pvt. Ltd. 2023)

8 TIIVISTEET

Läpivientilevyjen, luukkujen ja ovien asennuksessa laitesuojaan tulee suojauksen rajapinnoissa käyttää EMP-tiivistettä. Laitesuojan sisällä olevan erillisen EMC-tilan rajaamisessa voidaan käyttää erilaisia EMC-kangastiivisteitä.

8.1 EMP-palkotiivisteet

Palkotiivisteitä on saatavana eri kokoisina sekä valmistettuina eri materiaaleista kuten alumiini, monel (nikkeli ja kupari), ruostumaton teräs sekä kuparipinnoitettu teräs. Palkotiiviste, joka on täysin punottu metallisäikeistä (kuvio 20) on häiriösuojukseltaan erinomainen mutta sitä ei suositella käytettäväksi säälle alttiissa olosuhteessa johtuen puuttuvasta tiivistävästä elastomeeristä. Käytettäessä täysin punottua tiivistettä sää- sekä mahdollinen vaadittava ilmatiiveys täytyy toteuttaa erillisellä tiivistysratkaisulla. (Q-Flex 2024, 4.)



Kuvio 20. EMP-palkotiivisteitä, jotka ovat punottu metalliverkosta (Q-Flex 2024, 4)

Palkotiiviste on mahdollista saada rakenteella, jossa punoksen sisällä on joustava elastomeeri (kuvio 21) jonka ansiosta tiivisteellä on mahdollista saavuttaa rajattu tiiveys myös sääsuojauksessa. Joustava elastomeeri on yleensä materiaailtaan silikonia tai neopreenia. Elastomeerin ansiosta tiiviste palautuu helposti alkuperäiseen vahvuuteensa, jonka takia tiivistetyyppeä käytetään usein rakenteissa, joita joudutaan käytössä avaamaan ja sulkemaan. (Q-Flex 2024, 6.)



Kuvio 21. Tiivisteiden punoksen sisällä joustava elastomeeri (Q-Flex 2024, 6)

8.1.1 Vaimennuskyky

Palkotiivisteiden vaimennuskyky riippuu tiivisteiden verkon materiaalista. Taulukossa 2 on kuvattu tiivisteiden vaimennuskyky eri materiaaleilla ja taajuuksilla. (Q-Flex 2024, 4.)

Taulukko 2. Tiivisteen vaimennusarvot (Q-Flex 2024, 4)

Performance: Typical Attenuation dB

FREQUENCY	FIELD	MONEL	ALUMINIUM	TCS	S/STEEL
10KHz	H	45	40	60	40
100KHz	H	49	45	65	44
1MHz	H	60	60	85	58
1MHz	E	125	125	125	125
10MHz	E	120	120	120	120
100MHz	E	100	100	108	100
400MHz	P	98	95	99	94
1GHz	P	85	76	78	76
10GHz	P	80	65	62	60

8.1.2 Vaatimukset

Tiivistettä valittaessa täytyy huomioida olosuhteet, joille tiiviste mahdollisesti altistuu. Asennettavien pintojen tulee olla puhtaat ja sähköjohtavaa materiaalia.

Pintojen tulee täyttää suunnitellut pinnan suoruus- ja mittavaatimukset. Tiivisteen puristuma tulisi olla 20–25 % alkuperäisestä paksuudesta. (Q-Flex 2024, 4)

8.2 EMC-tiivisteet

EMC-tiivisteissä on usein vaahtomuovisydän, joka on päällystetty sähköjohtavalla tekstiilillä. Sydän voi olla materiaaliltaan neopreeni, PVC tai EPDM. (Holland Shielding Systems BV 2024b.)

Tiiviste voidaan asentaa koneistettuun uraan tai johtavalla liimalla. Tiivistemalleja löytyy suuri valikoima erilaisia (kuvio 22) ja niitä on mahdollista tilata myös mittojen mukaan. (Holland Shielding Systems BV 2024b.)

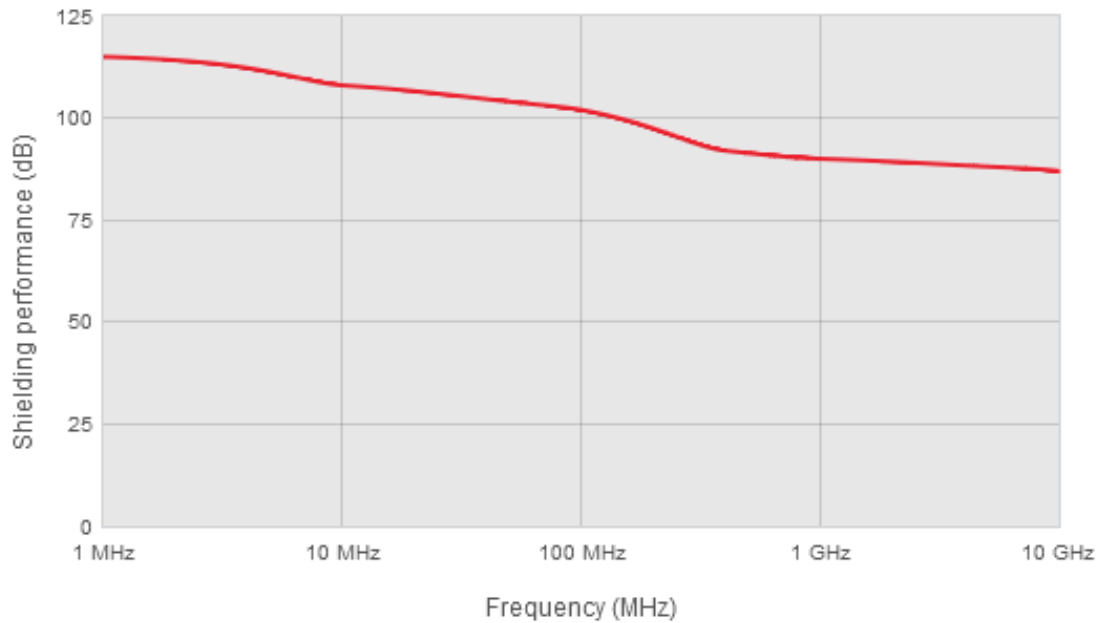


Kuvio 22. Erilaisia tekstiilipintaisia EMC-tiivisteitä (Holland Shielding Systems BV 2024b)

8.2.1 Vaimennuskyky

Kuviossa 23 kuvattuna 700-sarjan tiivisteiden vaimennuskyky. Arvot ovat mitattu laboratorio olosuhteissa. (Holland Shielding Systems Bv 2024b.)

Shielding performance

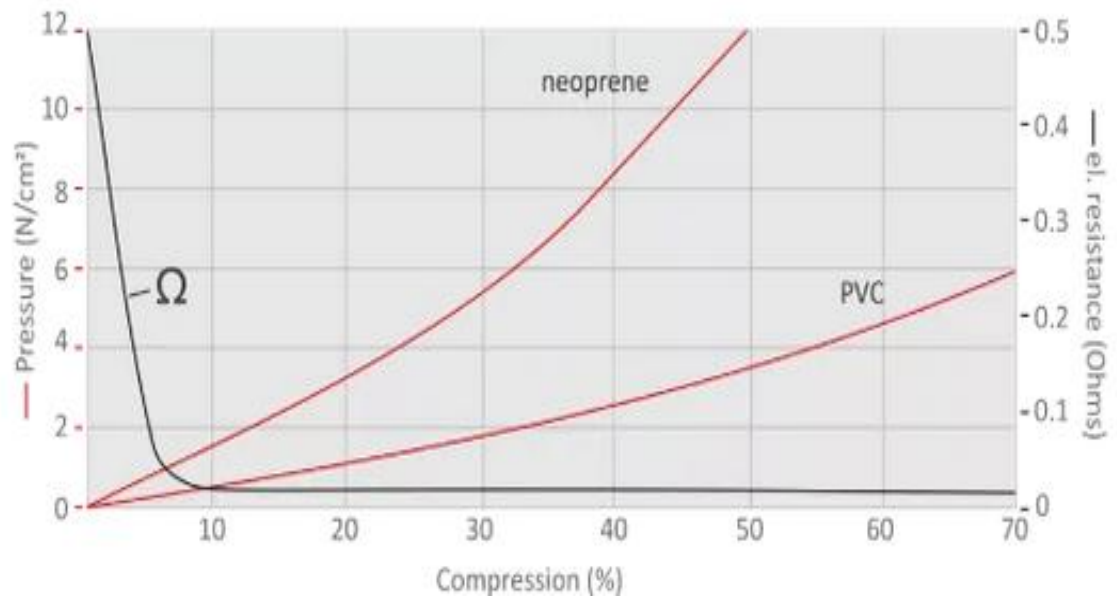


Kuvio 23. 7000-sarjan EMC-tiivisteiden vaimennuskyky kuvattuna (Holland Shielding Systems Bv 2024b)

8.2.2 Vaatimukset

Tiivistettä valittaessa täytyy huomioida olosuhteet, joille tiiviste mahdollisesti altistuu. Asennettavien pintojen tulee olla puhtaat ja sähköjohtavaa materiaalia.

Pintojen tulee täyttää suunnitellut pinnan suoruuks- ja mittavaatimukset. Tiivisteiden puristumassa tulee huomioida tiivisteiden sydämen materiaali (kuviot 24). (Holland Shielding Systems Bv 2024b.)



Kuvio 24. Tiivisteeseen puristumaan vaikuttaa sydämen materiaali (Holland Shielding Systems Bv 2024b)

9 LOPPUTULOKSET

Opinnäytetyön tuloksina saatiin teoriapohjainen tutkimus sähkömagneettisesta pulssista, sen syntymisestä, vaikutuksista sekä ratkaisuista, joilla pulssilta on mahdollista suojautua. Työn aikana huomattiin, että sähkömagneettisen pulssin ominaisuudet eri taajuuksilla sekä HPM-pulssin laaja toimintataajuus tuovat omat haasteensa EMP-suojauksen toteuttamiseen.

Tärkeimpänä tuloksena on toimeksiantajalle tehty työohje liittyen heidän valmistamiinsa laitesuojiiin ja niiden suojaamiseen sähkömagneettiselta pulssilta. Työohjetta voidaan käyttää hyödyksi laitesuojien mekaniikkasuunnittelussa.

10 POHDINTA

Opinnäytetyö valmistui laatimassani aikataulussa ja työn aihe oli mielenkiintoinen mutta paikoitellen haastava. Opinnäytetyön suorittamista helpotti, että tein työn yritykselle, jossa olen työskennellyt jo noin 16 vuotta. Sain myös pitää töistä opintovapaata, joka myös osaltaan helpotti työn suorittamista.

Mielestäni onnistuin opinnäytetyön teoriaosuudessa tutkimaan yleisesti sähkömagneettista pulssia, siltä suojautumista sekä suojautumiseen käytettäviä komponentteja ja materiaaleja. Tämän julkaistavan osuuden ulkopuolelle jäävästä työohjeesta tuli mielestäni selkeä ja kompakti paketti, jossa käsitellään toimeksiantajan valmistamia tuotteita sekä mahdollisuuksia niiden suojaamiseen sähkömagneettista pulssia vastaan.

Tekemäni opinnäytetyön julkaistava teoriaosuus sekä toimeksiantajalle toimitettava salattava työohje ovat mielestäni selkeitä ja toimeksiantajan hyödynnettävissä omassa toiminnassaan. Kaikki teoriaosuudessa käytetty materiaali löytyy virallisista lähteistä, joten opinnäytetyö on luotettava.

LÄHTEET

AECTP-250 2011. Electrical and electromagnetic environmental conditions. 2. Painos. NATO.

Alumeco Finland Oy Ab 2024a. Alumiini. Viitattu 25.04.2024
<https://www.alumeco.fi/alumiini/>

Alumeco Finland Oy Ab 2024b. Alumiinipinnan korroosio. Viitattu 25.04.2024
<https://www.alumeco.fi/asiantuntemus-ja-tekniikka/yleista/alumiinipinnan-korroosio/>

Arifin Oy 2024. Lyhyt oppimäärä ruostumattomasta ja haponkestävästä. Viitattu 25.04.2024
<https://arifin.fi/materiaalit/vene-19-bat-messut/>

Asiakastieto 2022. Conlog Oy. Viitattu 23.03.2024
<https://www.asiakastieto.fi/yritykset/fi/conlog-oy/20292397/yleiskuva>

Conlog Oy 2015. Sisäinen PDF-dokumentti. Viitattu 27.04.2024

Conlog Oy 2020. SK-Lift Conlog Oy:n omistukseen. 04.11.2020. Viitattu 12.04.2023
<https://conlog.fi/sk-lift-conlog-oy-n-omistukseen/>

Conlog Oy 2023a. BMP-2 modifikaatio. Viitattu 17.04.2024
<https://conlog.fi/tuotteet/bmp-2-modifikaatio/>

Conlog Oy 2023b. Kirjastoauto. Viitattu 23.03.2024
<https://conlog.fi/tuotteet/kirjastoauto/>

Conlog Oy 2023c. Komentopaikka KOPA. Viitattu 23.03.2024
<https://conlog.fi/tuotteet/komentopaikka-kopa/>

Conlog Oy 2023d. Mastokontit. Viitattu 15.04.2024
<https://conlog.fi/tuotteet/mastokontit/>

Conlog Oy 2023e. Toimintatapamme. Viitattu 23.03.2024
<https://conlog.fi/yritys/toimintatapamme/>

Conlog Oy 2023f. Yritysesittely. Viitattu 23.03.2024
<https://conlog.fi/yritys/yritysesittely/>

European Defence Agency 2024. What are the Electromagnetic Effects? Viitattu 09.04.2024
https://eda.europa.eu/docs/documents/Electromagnetic_Effects.pdf

European EMP Products Ltd 2024. EMP Shielding. Viitattu 09.04.2024
<https://www.euro-emc.co.uk/product/emp-shielding>

FMV Test & Evaluation 2024. Environmental & Mechanical Tolerance. Viitattu 25.04.2024
<https://testandevaluation.fmv.se/land/environmental-mechanical-tolerance/>

Holland Shielding Systems BV 2024a. Standard shield. Viitattu 25.04.2024
<https://hollandshielding.com/en/standard-shield>

Holland Shielding Systems BV 2024b. Ultra high-performance filter for the highest shielding demands. Viitattu 24.04.2024
<https://hollandshielding.com/en/ultra-high-performance-filter-for-the-highest-shielding-demands>

MDL Technologies Limited. MF-9F Test Set. Viitattu 25.04.2024
<https://www.mdltechnologies.co.uk/products/mf-130d-rf-test-set/>

Metalli Piiroinen 2024a. Alumiinin passivointi. Viitattu 23.04.2024
<https://www.piiroinen.com/fi/alihankinta/pintakasittely/alumiinin-passivointi/>

Metalli Piiroinen Oy 2024b. Kemiallinen niklaus. Viitattu 23.04.2024
<https://www.piiroinen.com/fi/alihankinta/pintakasittely/kemiallinen-niklaus/>

Nova CBRN Technologies Pvt. Ltd. EMP-Filters. Viitattu 24.04.2024
<https://www.novacbrn.com/meteorlabor-emp-filters>

Ocotec Oy 2024. Häiriösuojatut ratkaisut. Viitattu 24.04.2024
<https://ocotec.fi/tuotealustat/rf-ratkaisut/>

Opperman, A. 2023. What is EMP? BuiltIn 09.04.2023. Viitattu 09.04.2023
<https://builtin.com/hardware/emp>

Paki, P., Mahmood, S., Talbot, B., Platt, J., Centeno, M., Schoonover, R., Cohen, M., Robertshaw, G. & Trovato, J. 2022. Electromagnetic Pulse Shielding Mitigations. U.S. Department of homeland security 01.08.2022. Viitattu 09.04.2024 https://www.dhs.gov/sites/default/files/2022-09/22_0902_st_emp_mitigation_best_practices.pdf

Q-Flex 2024. PPT-Catalogue. Viitattu 24.04.2024 https://www.q-flex.fi/wp-content/uploads/2023/08/QF_PPT-catalogue.pdf

Radiation Emergency Medical Management 2024. Electromagnetic Pulse (EMP) Following a Nuclear Detonation 06.03.2024. Viitattu 09.04.2024
<https://remm.hhs.gov/EMP.htm>

Small, P. 2024. What is the best shielding against EMP? - The way to protect against electromagnetic pulse. Prepperhideout 28.02.2024. Viitattu 09.04.2024
<https://prepperhideout.com/blogs/preparedness-information/what-is-the-best-shielding-against-emp-the-way-to-protect-against-electromagnetic-pulse>

Spectrum Control 2024. Applications and the Evolution of EMP/HEMP Filter Technologies. Viitattu 27.04.2024
<https://www.spectrumcontrol.com/globalassets/documents/eis/white-paper---emp-hemp-filters.pdf>

LIITTEET

Liite 1. Salattu työohje toimeksiantajan mekaniikkasuunnitteluun (13 sivua).