

Axel Nyman

# MODULAARISEN ROBOTIJÄRJES- TELMÄN HÄTÄPYSÄYTYSJÄRJESTEL- MÄN SUUNNITTELU

Kandidaatintyö  
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta  
Tuomas Salomaa  
Toukokuu 2023

# TIIVISTELMÄ

Axel Nyman: Modulaarisen robottijärjestelmän hätäpysäytysjärjestelmän suunnittelu  
Kandidaatintyö  
Tampereen yliopisto  
Konetekniikan tutkinto-ohjelma  
Toukokuu 2023

---

Tämä kandidaatintyö sai toimeksiannon Tampereen yliopiston mekatroniikan tutkimusryhmältä (MRG). Tässä työssä tutkitaan perusteellisesti hätäpysäytysjärjestelmän suunnittelua ja toteutusta Euroopan unionin Horizon 2020 tutkimus ja innovaatio -ohjelman rahoittamalle Robominers-hankkeelle keskittyen standardeihin, turvallisuusvaatimuksiin ja järjestelmän suunnitteluperiaatteisiin. Ensisijaisena tavoitteena oli luoda innovatiivinen lähestymistapa hätäpysäytysjärjestelmän suunnittelulle, joka lisäisi tehokkuutta ja optimoisi järjestelmän käyttöönottoa modulaarisissa roboteissa.

Autonomiset ja modulaariset robottirakenteet tulevat yleistymään tulevaisuudessa, joten niiden turvallisuuden ja tehokkuuden tutkiminen on ratkaisevan tärkeää. Teollisuuden kehittyessä ja käyttöönotettaessa kehittynyttä teknologiaa, turvallisuuteen liittyvät huolenaiheet ovat yhä tärkeämpiä. Käsiteltävien aiheiden laaja kattavuus nykyisissä standardeissa korostaa turvallisuuteen liittyvien aiheiden merkitystä ja kattavan tutkimuksen sekä kehittämisen tarvetta, jonka takia työn aihe on merkityksellinen.

Työ jakautuu kirjallisuuskatsaukseen sekä pohdintaan perustuvaan suunnittelutyöhön. Kirjallisuuskatsauksessa perehdytään modulaaristen robottijärjestelmien perusteisiin, Robominers-hankeeseen, standardien asettamiin vaatimuksiin hätäpysäytysjärjestelmille ja turvallisuusvaatimuksiin. Suunnittelutyössä tarkastellaan langallisten ja langattomien hätäpysäytysjärjestelmien eroja, järjestelmän kytkentäperiaatteita, parametrisoitavaa ohjausjärjestelmää ja järjestelmän suunnittelua vaatimustenmukaisesti.

Tutkimuksen aikana havaittiin, että modulaarisia robottijärjestelmiä varten ei ole olemassa erityisiä turvallisuusstandardeja, minkä vuoksi on sovellettava olemassa olevia ohjeistavia standardeja. Lisäksi luotettavan hätäpysäytysjärjestelmän suunnittelu kauko-ohjattaville laitteille on mahdollisuuksien salliessa toteutettava langallisesti.

Tässä tutkielmassa esitelty suunnittelutyö ei toimi varsinaisena ohjeena modulaaristen robottijärjestelmien hätäpysäytysjärjestelmien kehittämiseksi, siinä keskitytään tutkimaan robotin kannalta käyttökelpoista vaihtoehtoa tutkittavan hankkeen puitteissa. Hätäpysäytysjärjestelmää suunniteltaessa on tärkeä ottaa huomioon konedirektiivin ja konekohtaisten standardien asettamat turvallisuus- ja erityisvaatimukset. Tutkimuksen tulokset korostavat turvallisuusstandardien noudattamisen tärkeyttä, sillä niiden noudattaminen on kriittinen tekijä tehokkaan hätäpysäytysjärjestelmän onnistuneen suunnittelun ja toteuttamisen kannalta.

Avainsanat: Hätäpysäytys, modulaarisuus, robotiikka, autonomisuus, yhteentoimivuus

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

# SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO .....	1
2. MODULAARINEN ROBOTTIJÄRJESTELMÄ .....	3
2.1 Määritelmä .....	3
2.2 Robominers-hanke.....	4
2.3 Robotin rakenne ja toiminta.....	4
3. HÄTÄPYSÄYTYSJÄRJESTELMÄ.....	7
3.1 Standardit .....	7
3.2 Häätöäytöksen standardit .....	7
3.3 Turvallisuusvaatimukset.....	9
4. JÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU .....	11
4.1 Pysäytösluokan valinta.....	11
4.2 Langallisen ja langattoman häätöäytöslaitteiston erot.....	12
4.3 Järjestelmän kytkentäperiaate.....	13
4.4 Banner SC10 parametroitava hybridirele.....	14
4.5 Häätöäytöslaitteisto .....	16
4.6 Häätöäytösjärjestelmän toimintaperiaate .....	18
5. YHTEENVETO.....	20
LÄHTEET .....	21

# LYHENTEET JA MERKINNÄT

ATO	engl. Automatic Terminal Optimization, automaattinen terminaalin optimointi
HMI	engl. Human Machine Interface, ihmisen ja koneen välinen käyttöliittymä
ISD	engl. In-Series Diagnostics, sarjaan kytkettävä diagnostiikkatoiminto
MTTF	engl. Mean Time To Failure, keskimääräinen vikaantumisaika
PL	engl. Performance Level, suoritustaso
PL <sub>r</sub>	engl. Required Performance Level, vaadittava suoritustaso
SIL	engl. Safety Integrity Level, turvallisuuden eheystaso
UHF	engl. Ultra high frequency, erittäin korkea taajuus

# 1. JOHDANTO

Tällä hetkellä Kiina tuottaa 98 % EU:n harvinaisten maametallien tarjonnasta. Euroopan talous on vahvasti riippuvainen näistä luonnonvaroista. Ne luovat vankan pohjan Euroopan teollisuudelle, joka tuottaa ympäri maailmaa tuotteita ja palveluita, joita käytetään jokapäiväisessä elämässä ja nykyaikaisten teknologioiden parissa. Monien raaka-aineiden jatkuva ja rajoittamaton saatavuus on suuri huolenaihe, josta EU ja muu maailma ovat yhä enemmän huolissaan. (Euroopan komissio 2023)

Nykypäivän teknologiat, kuten hybridiajoneuvot, tuuliturbiinit ja kannettavat tietokoneet, ovat hyvin riippuvaisia harvinaisista maametalleista. Euroopassa ei louhita tällä hetkellä yhtään harvinaista maametallia. Tärkeimmät harvinaiset maametalliesiintymät ovat kivissä, jotka ovat syntyneet repeämävyöhykkeillä. Alan tutkijat uskovat, että Euroopassa on riittävästi harvinaisten maametallien esiintymiä, jotta EU voisi olla omavarainen. (Turner 2023) Tämä vaatii kuitenkin sellaisen kaivosekosysteemin, joka pystyy louhimaan näitä esiintymiä ja hyödyntämään niitä.

Uuden kaivosekosysteemin luominen on pitkä ja innovatiivinen prosessi. Horizon 2020 -ohjelman rahoittama ROBOMINERS-hanke pyrkii kehittämään EU:lle uuden kaivosteknologian ja -ekosysteemin. Hankkeen päätavoitteena on kehittää miehittämätön biologisesti inspiroitunut modulaarinen kaivosrobotti, joka pystyy louhimaan, tutkimaan ja navigoimaan autonomisesti. (Lopes et al. 2023)

Monimutkaisen robotin suunnitteluvaiheessa on otettava huomioon tiukat turvallisuusmääräykset. Kun kyse on kaivostoiminnasta ja kehitettävästä prototyypistä, halutaan varmistaa kaikkien mukana olevien ihmisten turvallisuus lukuisilla turvallisuustoiminnoilla. Yksi tehokkaimmista turvallisuustoimenpiteistä on sellaisen riippumattoman järjestelmän käyttö, joka voidaan yhdistää laite- ja ohjelmistojärjestelmään.

Hätäpysäytysjärjestelmä on kokonaisuus, jossa hätäpysäytyskytkintä painamalla lähetetään laitteelle pysäytyssignaali, joka aiheuttaa ennalta määrättyjä toimenpiteitä. Vaikka hätäpysäytysjärjestelmä on tapa pysäyttää laite, sitä ei tulisi käyttää tavallisena pysäytystoimintona. Hätäpysäytysjärjestelmä on siis täydentävä turvallisuustoiminto, jota on käytettävä vain hätätilanteessa, jotta käytettävissä oleva laite ei aiheuttaisi uutta tai laajentaisi meneillä olevaa vahinkoa henkilöihin tai työprosessiin. (SFS-EN ISO 13850 2015, s. 8)

Pysäytyssignaalin lähettäminen laitteelle, joka on syvällä kaivoksissa, on haastavaa. Yksi syistä on signaalin saaminen perille ajoissa. Etenkin langattomissa hätäpysäytysjärjestelmissä signaalin katoaminen on hyvin mahdollista riippuen robotin olosuhteista. Tämä seikka on otettava huomioon suunnitteluvaiheessa ja suunniteltava järjestelmä niin, että langaton hätäpysäytys toimii ongelmitta tai niin, että sille on vaihtoehtoinen toteutustapa.

Tämän työn tarkoituksena on kehittää turvallisuuteen liittyvä järjestelmä, jossa on langaton tai langallinen hätäpysäytysmahdollisuus. Järjestelmä on tarkoitettu käytettäväksi modulaariselle ja autonomiselle kauko-ohjattavalle kaivosrobotille, jota kehitetään ROBOMINERS-hankkeessa. Työ esitellään standardien asettamien vaatimusten kautta.

Seuraavassa luvussa käsitellään modulaarisuutta ja modulaarisen robottijärjestelmän peruseriaatetta. Lisäksi esitellään aiemmin esille tuotua hanketta sekä siihen liittyvää robottia ja sen rakennetta. Kolmannessa luvussa perehdytään hätäpysäytykseen standardien pohjalta ja selvitetään standardien asettamia vaatimuksia järjestelmäkokonaisuudelle. Neljännessä luvussa keskitytään itse järjestelmän suunnitteluun ja perehdytään tarkemmin komponenttivalintoihin. Työn lopussa tuodaan esille tärkeimmät johtopäätökset ja tehdään yhteenveto modulaarisen robottirakenteen hätäpysäytysjärjestelmän elementeistä.

## 2. MODULAARINEN ROBOTTIJÄRJESTELMÄ

### 2.1 Määritelmä

Modulaarisuudella tarkoitetaan toiminnallisten osa-alueiden jakamista pienempiin osiin, moduuleihin. Monimutkaista järjestelmää on mahdollista yksinkertaistaa jakamalla järjestelmän toimintoja pienempiin osiin. Järjestelmien välisiä suhteita ja vuorovaikutuksia on helpompi ymmärtää ja käsitellä, jos isomman kokonaisuuden toiminnot on jaettu pienempiin osiin. Modulaarisuus mahdollistaa myös yksittäisten moduulien vaihtamisen esimerkiksi korjaamista tai uusien komponenttien päivittämistä varten. (Chen 2015, s. 2130)

Vaihtoehto modulaariselle järjestelmälle on integroitu kokonaisuus, jossa järjestelmät suunnitellaan yhtenä kokonaisuutena. Haittana on tällöin, että järjestelmät eivät yleensä ole yhtä helposti korjattavissa, päivitettävissä tai muokattavissa. Toisaalta etuna niiden suunnittelulle on alhaisemmat rajoitukset. Siksi niistä voidaan tehdä edullisia ja suorituskykyisiä. (Chen 2015, s. 2130)

Modulaarinen robotti on robottijärjestelmä, jossa kussakin moduulissa on toimilaitteita, antureita ja mahdollisuuksia suorittaa perustavanlaatuisia laskennallisia toimenpiteitä. Moduulit voidaan koota yhteen ja konfiguroida aina tarpeen mukaan suuremmaksi kokonaisuudeksi. (Chen 2015, s. 2130) Kokonaisuuden toiminta perustuu moduulien tarkkaan yhteistyöhön ja niiden keskinäiseen kommunikaatioon. Jokainen moduuli toimii itsenäisesti ja suorittaa oman tehtävänsä, mutta kaikki moduulit toimivat yhdessä yhteisen päämäärän saavuttamiseksi. Voidaan puhua moduulien symbioosista.

Yleisesti robotin suunnittelu on monimutkainen kokonaisuus. Idea modularisoinnissa on, että monimutkaisesta kokonaisuudesta voidaan tehdä yksinkertaisempi. Järjestelmään on mahdollista ohjelmoida erilaisia toimintoja, jolloin robotin toimintatapa on helposti muutettavissa ja sovitettavissa käyttäjän tarpeisiin. Moduuleihin liittyy paljon elektronisia komponentteja, joiden elinkaari voi olla hyvin lyhyt. Näin ollen toiminnallisten robottiyksiköiden moduulien päivittämisestä on tullut myös kriittinen kysymys, joka on ratkaistava nykyaikaisissa robottijärjestelmissä. (Chen 2015, s. 2130)

## 2.2 Robominers-hanke

Kaivostoiminta on edelleen pitkälti ihmistyövoiman varassa, ja robotiikkaa käytetään vain rajatuissa määrissä. Kaivostoiminta tapahtuu yleensä hankalissa olosuhteissa, mikä aiheuttaa huolia terveys- ja sosioekonomisista vaikeuksista. Viimeaikainen kaivostoiminta on herättänyt myös huolta maankäytöstä ja niistä aiheutuvista ympäristövaikutuksista. (Lopes et al. 2023)

Robominers on Euroopan unionin Horizon 2020 tutkimus ja innovaatio -ohjelman rahoittama hanke, jossa tutkitaan ja kehitetään innovatiivista teknologiaa kaivostoiminnan vaikeuksien ratkaisemiseksi vähentämällä jätteiden ja saasteiden määrää sekä tarjoamalla uusia työllistymismahdollisuuksia. Hankkeessa on mukana yhteensä 14 yhteistyökumppania 11 eri maasta yhdistäen tieteellisen ja ammatillisen osaamisen. (Tampereen yliopisto 2023)

Hankkeella on kaksi päätavoitetta. Ensimmäinen tavoite on kehittää bio-inspiroitunut modulaarinen kaivosrobotti, joka pystyy louhimaan, tutkimaan ja navigoimaan autonomisesti. Hankkeen toisena tavoitteena on luoda EU:lle portaittainen visio uudesta kaivosekosysteemistä. (Lopes et al. 2023)

Robominersin innovatiivinen lähestymistapa yhdistää uuden kaivosekosysteemin kehittämisen ja uudet ideat muilta robotiikan aloilta. Robotin hyöty tulee esille erityisesti etsittäessä pieniä tai vaikeasti saavutettavissa olevia mineraaliesiintymiä: esimerkiksi hylätyissä kaivoksissa, jotka ovat nykyään usein tulvien vallassa ja joihin perinteisillä kaivostekniikoilla ei pääse käsiksi ilman mittavia kustannuksia. Lisäksi robotti on hyödyllinen paikoissa, joissa on aiemmin tutkittu maametallien esiintymiä, mutta niiden hyödyntäminen on katsottu kannattamattomaksi esiintymien pienuuden tai vaikean saavutettavuuden vuoksi. (Robominers 2023)

Tampereen yliopiston Hervannan kampuksella on tärkeä rooli robotin prototyypin suunnittelussa ja valmistuksessa yhteistyökumppaneiden kanssa. Tampereen yliopistossa tutkitaan robotin liikkumistapaa eri osien, sekä elektronisten että rakenteellisten, kestävyttä. (Tampereen yliopisto 2023)

## 2.3 Robotin rakenne ja toiminta

Biologisesti inspiroitunut robotiikka on melko uusi suunnittelun näkökulma robotiikan parissa. Siinä on tavoitteena ottaa luonnon eliöiden elintavoista mallia ja hyödyntää niitä





**Kuva 1.** Inspiraatiolähteen eliöt robotin suunnittelussa (tuhatjalkainen, maamyrsirkka ja termiitti). (Lopes et al. 2023)

teknisten järjestelmien toteuttamisessa. Robominersin tapauksessa suunnittelun inspiraationa ovat kaivautuvat hyönteiset, kuten kuvassa 1 esitetään.

Näiden eliöiden liikkumistavat ja kaivautumiskyky ovat ominaisuuksia, joita on jäljitetty robotin suunnittelussa. Ominaisuuksia hyödyntämällä robotilla on mahdollisuus päästä käsiksi pieniin ja vaikeasti saavutettavissa oleviin mineraaliesiintymiin.

Robotti on varustettu suurella määrällä erilaisia antureita, joiden avulla kyetään aistimaan robotin ympäristöllä olevia mineraaleja. Robotin yksi modulaarisuuden etu on vaihdettavat kaivostyökalut. Tämä mahdollistaa robotin käytön louhintatyökaluna tai esimerkiksi näytteenottoa varten. (Tampereen yliopisto 2023)

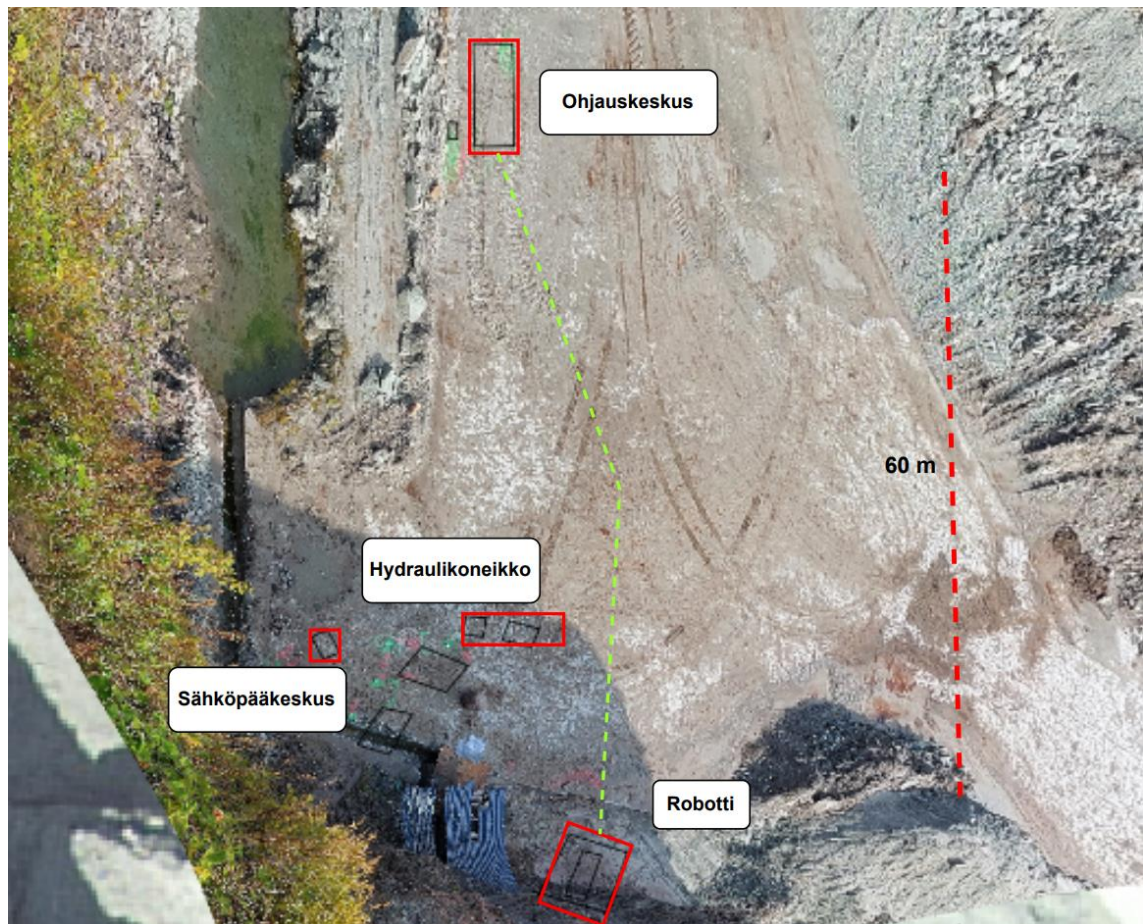


**Kuva 2.** Robominers robotin prototyypikuva (Robominers, twitter 2023)

Kuvassa 2 nähdään noin viiden metrin pituisen robotin prototyypimalli, josta selviää pääpiirteittäin sen rakenteelliset ominaisuudet. Robotin liikkuminen maan tai veden alla tai kaivoslietteessä tapahtuu robottia ympäröivien kuuden ruuvin avulla. Kuvassa näkyvät ruuvit mahdollistavat liikkumisen niiden lehtien avulla. Lehdet tunkeutuvat ympärillä olevaan maa-ainekseen ja työntävät robottia eteen- tai taaksepäin. Robotti on varustettu lukuisilla hydraulisilla toimilaitteilla, joiden avulla robotti kykenee nivelmäisiin liikkeisiin. Akusto takaa robotin hienomekanistisen säädön ja toimii mahdollisena varavirtalähteenä. Hydraulisten toimilaitteiden, ruuvien ja akuston lisäksi robotti on varustettu lamppuilla, radiolähettimillä, radiovastaanottimilla ja kameralla. Järjestelmässä jokainen moduuli suorittaa tietyn toiminnon tai tehtävän, kuten liikkeen hallinnan, antureiden käytön

tai apuohjelmien hallinnan. Näin kaikki moduulit yhdistettynä toisiinsa saadaan muodostettua kokonainen robottijärjestelmä.

Kuvassa 3 on esitetty robotin ensimmäisen kenttätestin työmaakuva. Kuvassa esiintyvä hydraulikoneikko ja sähköpääkeskus tarjoavat robotille tarvittavan tehonsyötön liikkumista ja työtoimintoja varten. Hydraulikoneikko toimii myös kaivoslietteen pumppaamona ja käsittelypisteenä. Ohjauskeskuksesta tapahtuu kaikki robotin ohjailu ja monitorointi.



**Kuva 3.** Kenttätestin layout kuva (mukailen, ROBOMINERS Field Test Layout, Kalle Hakonen 2022-09-29 CC BY-ND)

Robotille kaikki liikkeisiin ja toimintoihin liittyvät komennot kulkeutuvat ohjauskeskukselta yhtä verkkokaapelia pitkin, joka on esitetty kuvassa vaalean vihreänä katkoviivana. Kuvan 3 oikealla reunalla näkyvä punainen katkoviiva antaa perspektiiviä kenttätestin mitataavasta. Kuvasta voi huomata, että robotin toiminta ja koko kokonaisuus ei ole riippuvainen pelkästä yksilöllisestä robotista vaan robotti on riippuvainen useasta muusta toimilaitteesta. Tämä kuvassa näkyvä kokonaisuus muodostaa uuden kehityksessä olevan kaivosekosysteemin perusidean. Myöhemmässä vaiheessa robotteja voisi lisätä ja yhdistää robottien välistä kaivostoimintaa.

## 3. HÄTÄPYSÄYTYSJÄRJESTELMÄ

### 3.1 Standardit

Konedirektiivin 2006/42/EC mukaan ”Koneessa on oltava yksi tai useampia hätäpysäytyslaitteita, joiden avulla todellinen tai uhkaava vaara voidaan torjua.” Tästä voi kuitenkin poiketa, jos hätäpysäytys ei vähennä riskiä, edesauttaisi riskin hallintaa tai kyseessä on käsin kannettava tai ohjattava laite.

Konedirektiivin suhteen yhdenmukaistettu koneturvallisuuden standardi on kolmiportainen hierarkia. Standardit jaotellaan kolmeen eri tyyppiin.

- A-tyyppi: Niin kutsuttu kattostandardi, joka määrittelee koneturvallisuuden perusfilosofian, joita voi soveltaa kaikkiin koneisiin.
- B-tyyppi: Standardit, jotka koskevat yksittäisiä turvallisuusnäkökohtia tai suojausteknisiä laitteita.
- C-tyyppi: Yksityiskohtaisia turvallisuusvaatimuksia yksittäisille koneille tai koneryhmille.

Hierarkian tarkoituksena on nopeuttaa uusien standardien laadintaprosessia ja mahdollistaa se, että turvallisuussuunnittelun kulmakivet olisivat yhtäpitäviä kaikenlaisten koneiden suunnittelussa. Standardien hierarkia määritellään EN ISO 12100 standardissa, josta löytyy yleiset koneturvallisuuden suunnitteluperiaatteet ja ohjeet. (METSTA 2023)

Suunnittelutilanteessa tulee ensin selvittää, onko suunniteltavalle koneelle tai koneryhmälle C-tyypin standardia. Jos sellainen on olemassa, se ohjaa A- ja B-tyypin standardeja, jotka mahdollisesti täydentävät kohtia suunnittelutilanteessa. C-tyypin standardit esittävät tuotekohtaiset turvallisuusvaatimukset konedirektiivin olennaisten terveys- ja turvallisuusvaatimusten täyttymiseksi. C-tyypin standardeissa esitettyjä vaatimuksia pidetään ensisijaisina ja vahvempina verrattuna A- tai B-tyypin standardeihin. Jos C-tyypin standardit poikkeavat muilta standardeilta, ne ovat ensisijaisia. (METSTA 2023)

### 3.2 Hätäpysäytyksen standardit

Hätäpysäytyksen suunnitteluperiaatteille on laadittu B-tyypin standardi EN ISO 13850. Standardista selviää muun muassa hätäpysäytykseen liittyviä turvallisuusvaatimuksia, kuten hätäpysäytyslaitteen sijainti, tyyppi ja väri. Siinä esitetään myös toiminnallisia vaatimuksia, joiden mukaan hätäpysäytystoiminnon tulee toimia. Myös muissa, esimerkiksi

konekohtaisissa standardeissa, voidaan käsitellä hätäpysäytystä ja sen vaatimuksia. Tämä standardi toimii kuitenkin muiden standardien ohjenuorana.

Hätäpysäytystoimintoa ei vaadita kaikissa laitteissa, koska se on täydentävä suojaustoimenpide. Toiminto on suunniteltu torjumaan tai pienentämään ihmisille aiheutuvaa välitöntä vaaraa, sekä koneille tai käynnissä olevalle työprosessille aiheutuvia vahinkoja. (SFS-EN ISO 13850 2105, s. 7) Tämän takia koneille on tehtävä riskin arviointi, jonka perusteella havaitaan tarve varustaa kone hätäpysäytystoiminnolla.

Tässä työssä käsiteltävän robotin tapauksessa hätäpysäytystoiminnon tarve on selvää myös ilman riskin arviointia. Robotti työskentelee haastavissa olosuhteissa ja koostuu useista mekaanisista ja elektronisista komponenteista. Yksikin robotin moduulin vikaantumisen tai ohjelmistovika voi aiheuttaa ympäristössä työskenteleville vaaratilanteita, työprosessia unohtamatta.

Hätäpysäytyksen on toimintatavasta riippumatta oltava aina käytettävissä ja toimintakunnossa. Lisäksi pysäytystoiminnon on käynnistyttävä yhden ihmisen suorittamalla toimenpiteellä. Kun hätäpysäytystoiminto aktivoidaan, on toiminnon jäätävä niin pitkäksi aikaa voimaan, kunnes lukitus puretaan muulla toimenpiteellä. Hätäpysäytyslaitteen lukitseminen ei saa olla mahdollista ilman, että siitä aiheutuisi hätäpysäytyskäskyä. Laitteen vapauttaminen lukituksesta saa tapahtua ainoastaan tarkoituksellisella toimenpiteellä, ja sen ei tulisi käynnistää konetta uudelleen vaan ainoastaan tehdä uudelleenkäynnistäminen mahdolliseksi. (SFS-EN ISO 13850 2015, s. 8)

Hätäpysäytystoiminnon suunnitteluvaiheessa on otettava huomioon, että toiminnon on pysäytettävä koneen vaaralliset liikkeet asianmukaisesti ilman uusien vaaratilanteiden syntymistä. Asianmukaisella tavalla voi viitata parhaan mahdollisen hidastumisnopeuden valintaan, ennalta määritetyn alasajajärjestyksen tarpeeseen tai pysäytysluokan valintaan. (SFS-EN ISO 13850 2015, s. 10) Koneiden sähkölaitteiden koneturvallisuusstandardi EN 60204-1 jaottelee pysäytysluokat kolmeen eri kategoriaan.

- Pysäytysluokka 0: Teho katkaistaan välittömästi koneen toimilaitteilta.
- Pysäytysluokka 1: Valvottu pysähtymislukko, jossa teho poistetaan pysähtymisen jälkeen.
- Pysäytysluokka 2: Valvottu pysähtymislukko, jossa teho pidetään toimilaitteilla valvotussa tilassa.

Standardi EN ISO 13850 käsittää näistä vain pysäytysluokat 0 ja 1. Hätäpysäytysjärjestelmää suunniteltaessa valitaan sopiva luokka tehdyn riskin arvioinnin perusteella. Pysäytysluokan valinnassa on myös otettava huomioon koneen rakenteelliset rajoitukset.

Standardeilla EN IEC 60204-1, EN IEC 61800-5-2 ja EN IEC 60947-5-5 on myös olennainen osa hätäpysäytysjärjestelmän suunnittelua. EN IEC 60204-1 standardia sovelletaan lähes kaikkiin koneen sähköisiin ja elektronisiin laitteisiin. Se ei kuitenkaan koske toiminnan aikana kädessä kannettavia laitteita. Standardi asettaa muun muassa sähkölaiteistoa hyödyntäville hätäpysäytysjärjestelmille lisävaatimuksia. Mekaanisen lukitus-toiminnon omaavien hätäpysäytyslaitteiden komponenttikohtaisia vaatimuksia, esimerkiksi kotelointi- ja kestävyysvaatimukset, esitellään standardissa EN IEC 6047-5-5. Standardissa EN IEC 61800-5-2 esitellään turvallisuusvaatimuksia elektronisesti ohjattaville voimansiirtojärjestelmille.

Hätäpysäytysjärjestelmä on kokonaisuus, joka koostuu hätäpysäytyslaitteistosta, -laitteesta ja -vyöhykkeestä. Hätäpysäytyslaitteisto voi olla joko sähköinen, hydraulinen tai pneumaattinen, ja on osa sitä ohjausjärjestelmää, joka suorittaa hätäpysäytystoiminnon. Sähköisen laitteiston vaatimukset on asetettu standardissa EN IEC 60204-1. Hätäpysäytyslaite on puolestaan käsi- tai jalkakäyttöinen laitteiston osa, jota painamalla syntyy hätäpysäytyssignaali. Esimerkiksi hätäpysäytyspainike, jossa on sienimuotoinen painike, on hätäpysäytyslaite. Hätäpysäytysvyöhyke kuvaa aluetta, johon hätäpysäytyslaite vaikuttaa. (SFS-EN ISO 13850 2015, s. 11)

### **3.3 Turvallisuusvaatimukset**

Standardit EN ISO 13849-1 ja EN IEC 62061 asettavat vaatimuksia koneiden turvallisuuteen liittyvien ohjausjärjestelmien suunnittelulle. Standardit tarjoavat myös kattavan perustan järjestelmien turvallisuuden ja luotettavuuden luokitukselle. EN ISO 13849-1, B-typin standardi, keskittyy ohjausjärjestelmien turvallisuuteen liittyvien osien suunnitteluun ja arviointiin. Siinä esitetään yleiset periaatteet turvallisuustoimintojen kehittämistä ja arviointia varten, mukaan lukien suoritustason (engl. Performance Level, PL) ja vaadittavan suoritustason (engl. Required Performance Level, PL<sub>r</sub>) määrittäminen. (SFS-EN ISO 13849-1 2015, s. 7) Standardi EN ISO 13849-1 on sovellettavissa hydraulisiin, pneumaattisiin ja elektromeekaanisiin järjestelmiin, kun taas EN IEC 62061 käsittelee koneiden turvallisuuteen liittyvien sähköisten, elektronisten ja ohjelmoitavien elektronisten ohjausjärjestelmien toiminnallista turvallisuutta. EN IEC 62061 standardissa määritellään myös turvallisuuden eheyden (engl. Safety Integrity Level, SIL) tasot. Näiden lisäksi on muistettava, että hätäpysäytys ei ole suoranaisesti turvatoiminto vaan täydentävä suojaustoimenpide, jolloin sitä ei suoranaisesti koske standardien asettamat vaatimukset.

Vaadittava suoritustaso  $PL_r$  tarkoittaa sitä vähimmäissuorituskykyä, joka tarvitaan tietyn turvallisuustoiminnon osalta. Vaadittavan suoritustason määrittäminen perustuu riskin arviointiin, jossa otetaan huomioon mahdollisen vaaran vakavuus, todennäköisyys, altistumistiheys, kesto ja vikaantumistodennäköisyys. Suoritustaso PL tarkoittaa puolestaan todellista turvallisuustasoa, joka saavutetaan järjestelmän turvallisuuteen liittyvällä osalla sen lopullisessa vaiheessa. Suoritustaso PL on jaoteltu viiteen eri luokkaan, josta PL a on alhaisin ja PL e korkein luokka. Kukin luokka kuvaa kasvavaa riskin alentamisen tasoa. (SFS-EN ISO 13849-1 2015, s. 49)

SIL on suoritustason tapaan mittari, jolla mitataan turvallisuusjärjestelmän tehokkuutta vaaratilanteiden riskin vähentämiseksi hyväksyttävälle tasolle. SIL tasot on luokiteltu neljään eri luokkaan, josta SIL 1 on alhaisin ja SIL 4 korkein. Sopivan SIL tason määrittäminen edellyttää vastaavaa riskin arviointia, kuin suoritustason määrittämiselle.

PL	SIL (IEC 61508-1, tiedoksi) tiheiden vaateiden tai jatkuvan toiminnan tapa
a	Ei vastaavuutta
b	1
c	1
d	2
e	3

**Kuva 4.** Taulukko suoritustason ja turvallisuuden eheyden tason vastaavuudesta (SFS EN-ISO 13849 2015, s. 24)

Kuvasta 4 nähdään suoritustason ja turvallisuuden eheystason välinen laskennallinen yhteys. Molemmissa tasoissa määritellään turvallisuuteen liittyviä tasoa vaarallisen keskimääräisen vikaantumisaajan (engl. Mean Time To Failure, MTTF) kautta.

## 4. JÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU

Tässä työssä projektin monimutkaisuus asettaa haasteita hätäpysäytysjärjestelmän suunnittelulle. Järjestelmän suunnittelussa täytyy ottaa huomioon kaikki robottiin liittyvät toimilaitteet ja ympäristö, jossa toimitaan. Robotin kaikkien liikkeiden ja toimintojen hallinta tapahtuu ohjauskeskuksesta. Tällöin pysäytysignaalin on mentävä ohjauskeskuksen kautta robotille. On otettava myös huomioon, että robotin ympäristössä olevat toimilaitteet ovat etäällä toisistaan. Niistä jokainen tulisi varustaa hätäpysäytyslaitteella. Myös tehonsyötön toimilaitteet tulee pysäyttää hätäpysäytyksen aikana. Järjestelmä ei siis koske pelkästään robottia vaan kokonaisuutta.

Ideaalitapauksessa kauko-ohjattavissa laitteissa hätäpysäytyslaitteisto on langallisesti toteutettu. Tällöin on mahdollista välttää langattoman yhteyden aiheuttamat häiriöt. Tämä ei kuitenkaan ole aina mahdollista. On tilanteita, joissa ohjattava laite on niin kaukana, että fyysisten kaapeleiden asentaminen ei ole järkevä vaihtoehto. Voi olla myös tilanteita, joissa laitteiden sijainnit vaihtelevat jatkuvasti ja täten aiheuttavat haasteita langallisen toteutustavan suunnittelulle.

### 4.1 Pysäytysluokan valinta

Hätäpysäytysjärjestelmän suunnittelu alkaa perusteellisilla turvallisuusselvityksillä ja laitteen riskin arvioinnilla. Tämän jälkeen valitaan pysäytysluokka. Ottamalla huomioon tutkimuksen robottijärjestelmän rakenteelliset ominaisuudet, toimintaympäristö ja riskin arviointi, voidaan päätellä, että sopivin hätäpysäytysluokka tälle järjestelmälle on luokka 1. Tämän luokan ja standardin EN ISO 13850 määritelmien mukaan koneen liikkeet ja toiminnot pysäytetään ylläpitämällä tehoa toimilaitteissa siihen asti, kunnes pysähtyminen on saatu aikaiseksi. Tällä luokalla pyritään estämään, todellisen tai uhkaavan vaara lisäksi, laitteen mahdollinen vikaantuminen hätäpysäytyksen aikana.

Tässä tapauksessa luokan 1 toiminta tarkoittaa seuraavaa: erillinen ohjausjärjestelmä, johon pysäytyslaite on kytketty, lähettää hätäpysäytyslaitteeseen vaikutettaessa välittömästi pysäytyskäsken ohjauskeskuksessa sijaitsevaan verkkoon. Signaali välittyy verkon kautta itse robottijärjestelmään, jolloin sen liikkeet ja toiminnot pysähtyvät. Kun robotin liikkeet ja toiminnot on pysäytetty, laitteen tehonsyöttö katkaistaan välittömästi.

Robotin liikkeiden ja toimintojen pysäyttämällä varmistetaan robotin ja työprosessin kunnossa pysyminen. On kuitenkin tärkeää ottaa huomioon, että jos robotti ei jostain

syystä pysähdy signaalin jälkeen, tehonsyöttö on silti katkaistava. Tehonsyötön katkaisun tulee siis olla riippumaton siitä, pysähtyykö robotti sen saamasta pysäytyssignaalista vai ei. Tällöin varmistetaan robotin pysähtyminen molemmissa tilanteissa. Tämän jälkeen on tärkeää ottaa huomioon standardien asettamat komponenttivaatimukset luokalle 1 ja noudattaa näitä vaatimuksia järjestelmän turvallisuuden takaamiseksi.

## 4.2 Langallisen ja langattoman hätäpysäytyslaitteiston erot

Langallinen hätäpysäytyslaitteisto on nimensä mukaisesti langallisesti kytketty laitteisto, jossa laitteen kautta synnytetty hätäpysäytyssignaali kulkeutuu koneelle fyysistä kaapeleita pitkin ja aktivoi vaatimustenmukaisen pysäytyksen. Langaton hätäpysäytyslaitteisto käyttää puolestaan langatonta yhteyttä, kuten erittäin korkeaa radiotaajuutta (engl. Ultra high frequency, UHF). Langaton järjestelmä voi olla täysin langaton, jos ohjausjärjestelmä on varustettu akustolla. Vaihtoehtoisesti ohjausjärjestelmälle syötetään kaapeleita pitkin virtaa ja pelkät hätäpysäytyspainikkeet ovat langattomasti yhteydessä ohjausjärjestelmään.

Langallisen järjestelmän asentaminen edellyttää kaapeleiden käyttöä hätäpysäytyslaitteiston ja järjestelmän välillä. Fyysisten kaapeleiden asentaminen voi viedä enemmän aikaa ja työtunteja verrattuna langattoman laitteiston asentamiseen. Myös laitteiston jatkuva ylläpito edellyttää kaapeleiden kunnon tarkastamista ja korjaamista tai mahdollisesti vaihtamista, olosuhteista riippumatta. Langattomassa laitteistossa asennus ja ylläpito helpottuu sillä kaapeleita ei ole laitteiston ja koneen välillä. Langattomissa laitteissa ylläpito keskittyy ainoastaan laitteistoon. Langattomuus tarjoaa myös joustavuutta. Langattomia hätäpysäytyslaitteita voi laittaa esimerkiksi työntekijöiden vöille. (Cattron 2023)

Langattomien järjestelmien joustavuudella on kuitenkin heikkoutensa. Ne ovat alttiita signaalihäiriöille, riippuvaisia akustosta ja verrattain kalliita. Tällöin laitteisto on riippuvainen ympäristötekijöistä, etäisyyksistä tai lähettimen ja vastaanottimen välisistä esteistä. Näiden lisäksi langattomien laitteiden signaalia on helppo häiritä, joka voi olla haitaksi toimintaa kohtaan tai aiheuttaa lisää vaaraa. Langallisen laitteiston fyysinen yhteys laitteiston ja järjestelmän välillä takaa tasaisesti toimivan signaalin, joka tekee langallisista järjestelmistä luotettavampia ja vähemmän alttiita häiriöille. Myös luvattoman käytön ja häirinnän riski pienenee. Langalliset hätäpysäytyslaitteistot ovat yleensä myös edullisempia, sillä laitteissa käytettävät komponentit ovat halvempia.

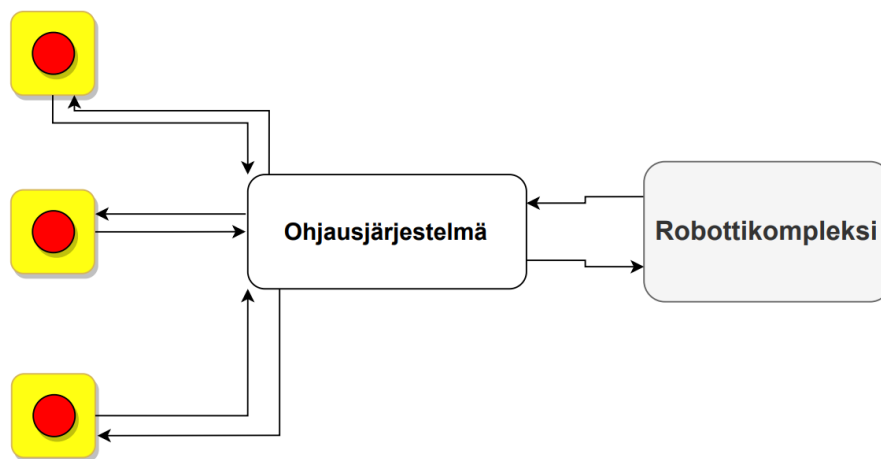
Langallisen järjestelmän toteutuksessa laitteisto pitää kasata vaatimustenmukaisista komponenteista, joita löytyy useilta komponenttitoimittajilta. Langattoman järjestelmän tapauksessa on samat vaatimukset, mutta langattomalle järjestelmälle on huomattavasti



vähemmän valmiita kokonaisuuksia tarjolla niiden matalan kysynnän vuoksi. Esimerkiksi Cattronin valmistama Safe-E-Stop koostuu kannettavista lähettimistä ja vastaanottimesta. Laite on SIL 3 luokiteltu ja suunniteltu standardien asettamien vaatimuksien pohjalta. Valmistaja lupaa 100 metrin toimintamatkan UHF signaalilla. (Cattron 2023)

### 4.3 Järjestelmän kytkentäperiaate

Tutkimuksen hankkeessa langallisen hätäpysäytyslaitteiston toteuttaminen on mahdollista. Vaikka langattoman laitteiston toteuttaminen olisi helpompaa, on langallisen laitteiston antama toimintavarmuus olennainen osa turvallisuutta ja turvallisuuden toiminta-ehyyttä. Robotin toiminnan kannalta kriittiset toimilaitteet, sähköpääkeskus ja hydraulikoneikko, on hyvä varustaa omilla hätäpysäytyspainikkeilla. Tällöin jos toimilaitteella ha-



**Kuva 5.** Kytkentäperiaate

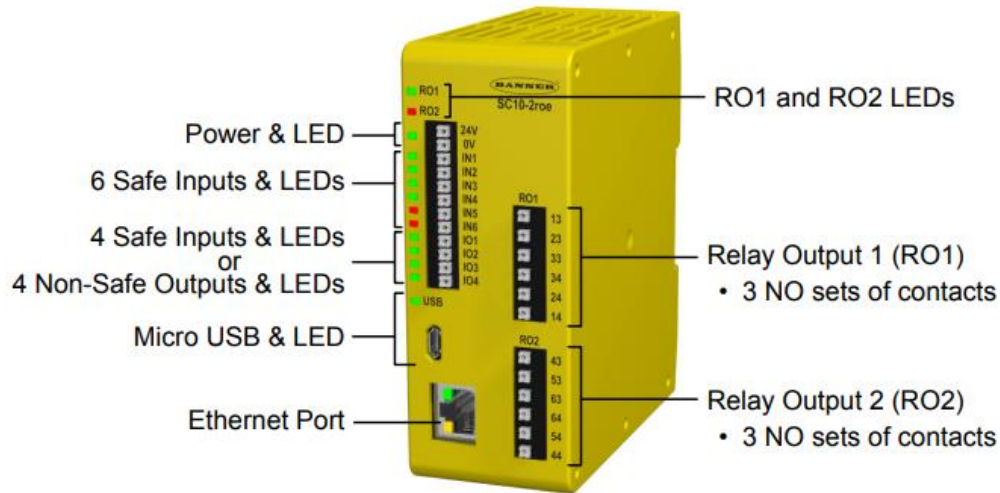
vaitaan vikaantuminen, on hätäpysäytyspainikkeen saatavuus välittömässä läheisyydessä välttämätöntä. Kuva 5 auttaa periaatteen kokonaisuuden hahmottamisessa. Kuvassa hätäpysäytyslaitteet on kytketty ohjausjärjestelmään. Ohjausjärjestelmä puolestaan kuvaa sitä laitetta, joka on yhteydessä muihin toimilaitteisiin ja itse robottiin.

Hätäpysäytyspainikkeen sijoittaminen ohjauskeskukseen ja robotin läheisyyteen on oleellista, sillä jos robotin toiminnossa huomataan vikaantuminen ja robotin omat logiikat eivät pysäytä toimintaa, pysäytyssignaali on saatava liikkeelle. Toimilaitteiden tulisi olla myös järkevällä etäisyydellä, jolloin langallisen järjestelmän toteutus olisi myös tältä osin helpompaa.

Ohjauskeskuksesta ollaan yhteydessä robottiin verkon kautta. Tämä tarkoittaa sitä, että laitteiston ohjausjärjestelmä pitää saada kytkettyä verkkoon, jotta pysäytyssignaali saadaan robotille asti. Tämän takia hätäpysäytyslaitteistosta tehdään erillinen kokonaisuus, joka on yhteydessä loppukokonaisuuteen.

#### 4.4 Banner SC10 parametroitava hybridirele

Ohjausjärjestelmänä robotin verkon ja hätäpysäytyspainikkeiden välillä toimii Banner SC10-2ROE hybridimallinen parametroitava turvarele. Banner Engineeringin valmistama SC10 sarjaan perustuva turvarele on PL e ja SIL CL 3 tasoinen. Hybridirele on



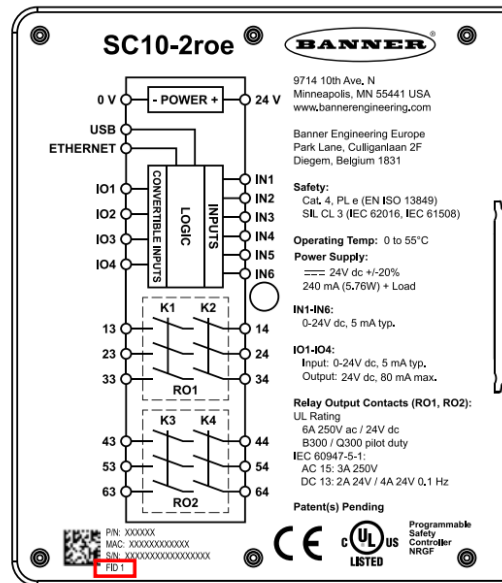
**Kuva 6.** Banner Engineering SC10-2ROE hybridirele (Banner Engineering 2023)

suunniteltu korvaamaan kahden tai useamman perinteisen turvarelemoduulin toiminnot ja tarjoaa samalla intuitiivisen käyttöliittymän ja kehittyneet diagnostiikkaominaisuudet. (Banner Engineering 2023) Kuvassa 6 nähdään Bannerin hybridireleeksi nimittämä tuote. Vastaavanlaisia tuotteita kutsutaan myös konfiguroitaviksi turvaohjaimiksi. Esimerkiksi PILZin valmistama PNOZmulti 2 -pienohjausyksikkö tai REER Mosaic M1S COM. Pääpiirteittäin tuotteet tarjoavat samoja asioita, mutta pieniä rakenteellisia ja kytkennällisiä eroja saattaa olla. Kuvasta nähdään myös visualisoidut kytkentämahdollisuudet.

Yksi tämän turvareleen tärkeimmistä ominaisuuksista on sen sisäinen sarjaan kytkettävä diagnostiikkatoiminto (engl. In-Series Diagnostics, ISD). Tämä ominaisuus tarjoaa yksityiskohtaisia tila- ja suorituskykytietoja jokaisesta sarjaan kytketystä turvalaitteesta. Diagnostiikkatoimintoa voidaan helposti käyttää ihmisen ja koneen välisen käyttöliittymän kautta (engl. Human Machine Interface, HMI) tai vastaavalla laitteella. Turvaohjainta voidaan ohjelmoida ja hallita Bannerin omalla tietokoneohjelmistolla. Tämän avulla voidaan yksinkertaistaa laitteen asetuksia ja hallintaa, mikä helpottaa käyttöönottoa. (Banner Engineering 2023)

SC10-2ROE rele tukee laajasti erilaisia turvalaitteita hätäpysäytyspainikkeiden lisäksi. Tämä mahdollisuus tarjoaa turvalaitteiden päivitysmahdollisuuksia tulevaisuutta ajatellen. Tällöin ei tarvitse ostaa ja varastoida tietyille turvalaitteille tarkoitettuja yksittäisiä

turvaremoduuleja. Päivitysmahdollisuudet helpottavat myös uusien turvalaitteiden asentamista, sillä tällöin ei tarvitse kytkeä täysin uutta laitetta robotin järjestelmään vaan



**Kuva 7. Banner Engineering SC10-2ROE hybridireleen kytkentäkaavio (Banner Engineering 2023)**

voi hyödyntää jo olemassa olevaa turvarelettä. (Banner Engineering 2023)

Kuvasta 7 nähdään releen sisäinen kytkentäkaavio. Laitteessa on kaksi kuuden ampeerin turvarelelähtöä, joissa kummassakin on kolme kosketinsarjaa ja kymmenen tuloa, joista neljää voidaan käyttää muina kuin turvarelelähtöinä. Lisäksi turvareleestä löytyy ATO-ominaisuus (engl. Automatic Terminal Optimization), jolla voi lisätä vielä neljä tuloa. Hybridirele tukee myös Ethernet-tiedonsiirtoa, joka on tämän työn kannalta erittäin oleellinen ominaisuus, sillä hätäpysäytyspainikkeen painamisesta on saatava tietoa robotin omaan verkkoon. Releestä saatavia tulo- ja lähtödiagnostiikkatietoja on mahdollista lähettää joko Ethernet IP, Modbus/TCP tai Profinet protokollan avulla. (Banner Engineering 2023) Turvareleen valinnassa tulee huomioida, ettei Ethernet-liityntää voida käyttää turvatiedon siirtovälineenä, jolloin sillä ei voi tehdä varsinaista turvaohjausta.

Yhteenvedona voidaan todeta, että Bannerin SC-10ROE hybridirele tarjoaa kustannustehokkaan, tarkoituksenmukaisen ja käyttäjäystävällisen ratkaisun turvalaitteiden hallintaan pienemmissä kokonaisuuksissa. Sen kehittyneet diagnostiikkaominaisuudet, intuitiivinen käyttöliittymä ja tuki monille turvalaitteille tekevät siitä monipuolisen ja käytännöllisen vaihtoehdon eri toimialojen käyttäjille.

## 4.5 Hätäpysäytyslaitteisto

Järjestelmän laitteisto pohjautuu Bannerin SC10-ROE hybridireleen ympärille. Laitteiston kytkennässä käytetään hyödyksi ISD-sarjaliikennettä, joka mahdollistaa useampien turvalaitteiden kytkemisen sarjaan. Tässä tapauksessa sarjaan kytketään vain hätäpysäytyspainike ja nollauspainike. Sarjaliikenteen käyttö yksinkertaistaa kytkentöjä ja vähentää mahdollisia virhesignaaleja. ISD-kytkentöjä voi myös tarvittaessa tehdä kaksi, jos yhden kytkennän kaapeliveto aiheuttaa haasteita. ISD sopivilla komponenteilla varmistetaan myös korkeimpien turvallisuustasojen PL e ja SIL CL 3 saavuttaminen.

Hybridirele vaatii toimiakseen 24 VDC jännitteen. (Banner Engineering 2023) Tällöin releelle täytyy tuoda jännite, joko ulkoisesta jatkuvasta virtalähteestä tai akustosta, jonka voi sijoittaa releen lähistöön. Akun käyttö lisää laitteistolle yhden riippuvuussuhteen ja heikentää toimintavarmuutta, minkä takia jatkuvan virran saanti on parempi ratkaisu.

Releen kansainvälinen koteloiluokitus on IP54, joka tarkoittaa sitä, että kotelo on pölysuojattu ja kestävä satunnaisia vesiroiskeita. (STEK 2023) Rele ja mahdollinen akusto on siis hyvä suojata ja eristää vielä erillisellä suojakotelolla, jolla on korkeampi koteloiluokitus, kuten IP67. Tämä koteloiluokitus tarkoittaa polytiivistä koteloa, joka kestävä lyhytaikaisen upotuksen veteen. Tällaisella kotelolla varmistetaan, että laitteisto toimii myös vaativissa ulko-olosuhteissa.

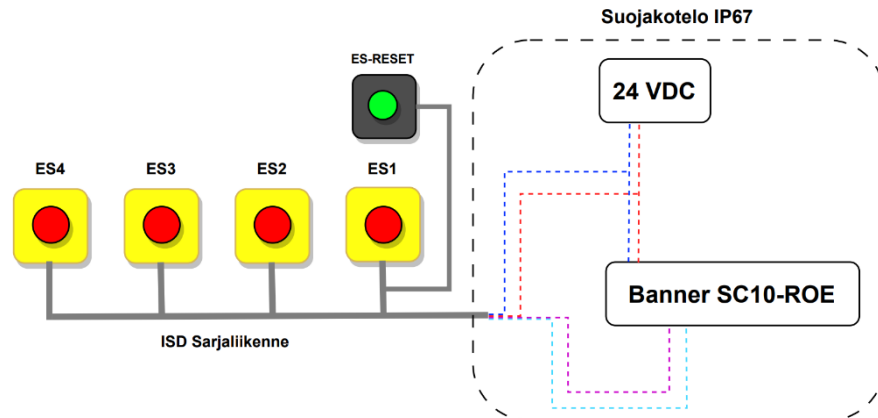
Kuten aiemmin tekstissä on mainittu, hätäpysäytyspainikkeiden tulee olla vaatimustenmukaiset. Standardit ovat määritelleet, että hätäpysäytyspainikkeen painike



**Kuva 8.** ISD sarjaliikenne yhteensopiva hätäpysäytyspainike (Banner Engineering 2023)

täytyy olla punainen ja heti painikkeen alla vaikuttava pinta pitää olla keltainen. (SFS-ISO EN 13850, s. 13) Kuvassa 8 on esitetty Banner Engineeringin valmistamia ISD-sarjaliikenteelle tarkoitettuja vaatimustenmukaisia hätäpysäytyspainikkeita. Painikkeet on myös varustettu valaisinpohjalla. Sarjaliikenteeseen on mahdollista kytkeä myös

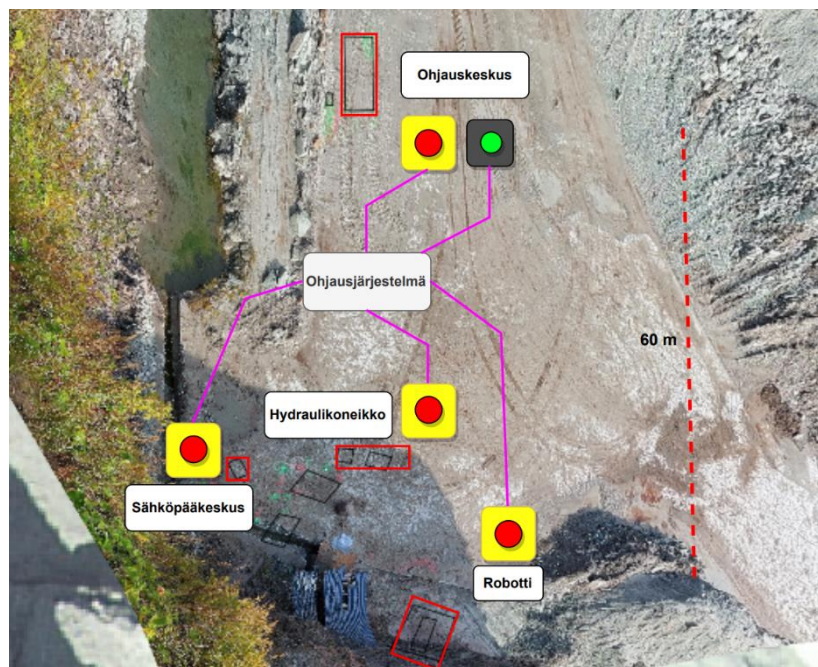
muiden valmistajien laitteita Bannerin kehittämällä sarjaliikennemuuntimella. Nollauspainikkeena voi teoriassa käyttää lähes mitä vain vaatimustenmukaista kotoitua paini-



**Kuva 9.** Häätäpysäytyslaitteiston kytkentäkaavio

ketta, mutta sen on hyvä olla samalta valmistajalta, kuin muu järjestelmä. Tällöin yhteensopivuus ja muut vaatimukset täyttyvät varmasti.

Kuvassa 9 on esitetty laitteiston yksinkertaistettu kytkentäkaavio. Laitteisto koostuu neljästä häätäpysäytyspainikkeesta, yhdestä nollauspainikkeesta, virtalähteestä ja ohjausjärjestelmästä, jota suoja IP67 luokiteltu kotelo. Häätäpysäytyspainikkeet ja nollauspainike on kytketty sarjaliikenteeseen. Sarjaliikenne ja ohjausjärjestelmä saavat virtansa virtalähteestä.

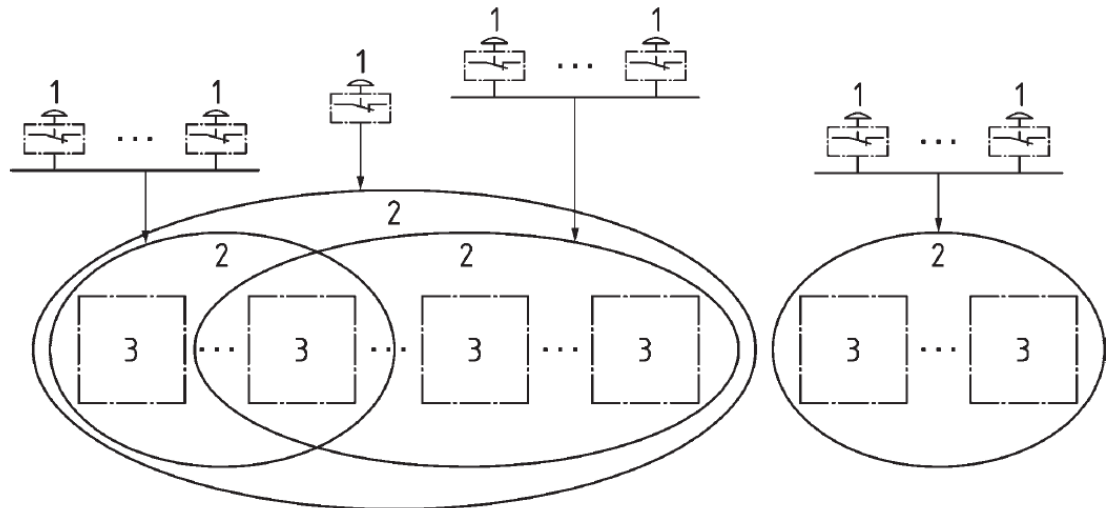


**Kuva 10.** Laitteiston levityskuva kenttätestin layoutissa (mukaillen, ROBOMI-NERS Field Test Layout, Kalle Hakonen 2022-09-29 CC BY-ND)

Kuvasta 10 nähdään vielä häätäpysäytyspainikkeiden mahdolliset sijainnit kenttätestin työmaalla. Painikkeet on hyvä sijoittaa kuvassa näkyviin kohteisiin: robotin läheisyyteen,

hydraulikoneikolle, sähköpääkeskukseen ja ohjauskeskukseen. Nämä ovat oleellisia kohteita kokonaisuuden toimivuuden kannalta. Tulevaisuutta varten hätäpysäytyspainikkeiden tai uusien turvalaitteiden lisääminen onnistuu helposti, jos nähdään, että nykyiset painikkeet eivät riitä.

Kuvasta 11 voi nähdä suuremman kokonaisuuden hätäpysäytysjärjestelmän, jossa koneiden ja hätäpysäytyslaitteiden väliset riippuvuudet on kuvattu ja erotettu toisistaan kolmannessa kappaleessa mainituilla hätäpysäytysvyöhykkeillä.



**Kuva 11.** Hätäpysäytysvyöhykkeen esimerkki (SFS-EN ISO 13850, s. 10)

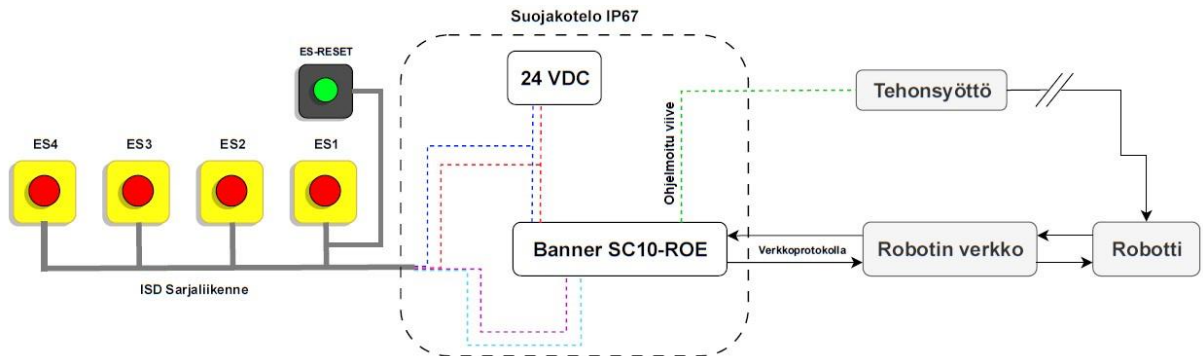
Kun hätäpysäytyslaite lähettää pysäytyssignaalin kaikki hätäpysäytysvyöhykkeen sisällä olevat koneet tai koneen osat ovat tämän signaalin vaikutuksessa. Kuten kuvasta 11 myös nähdään, voi jokin järjestelmän osa olla irrallaan suuremmasta kokonaisuudesta ja muodostaa oman hätäpysäytysvyöhykkeen.

Tämä sama periaate on myös voimassa kuvassa 10 esiintyvässä laitteiston kenttäkytkennässä. Tässä tapauksessa kaikki neljä hätäpysäytyspainiketta ovat kytköksissä toisiinsa ja yhteydessä yhteen hätäpysäytysvyöhykkeeseen. Hätäpysäytysvyöhyke pitää sisällään tässä tapauksessa robotin ja sen kaikki toimilaitteet. Tällöin yhteenkin painikkeeseen vaikuttaminen vaikuttaa kaikkiin muihin riippuvuussuhteessa oleviin painikkeisiin ja vyöhykkeen sisällä oleviin laitteistoihin.

## 4.6 Hätäpysäytysjärjestelmän toimintaperiaate

Hätäpysäytysjärjestelmän toimintaperiaate on kriittinen näkökulma robotin turvallisen toiminnan varmistamisessa. Järjestelmä on suunniteltu varmistamaan, että robotti pysäytetään turvallisesti. Samalla varmistetaan, että tehonsyöttö katkaistaan, mikä estää mahdolliset vaaratilanteet ja uusien vaaratilanteiden syntymisen.

Ohjausjärjestelmä vastaa signaalien lähetyksestä sekä robotin verkkoon että tehonsyötölle niiden sammutusprosessien käynnistämiseksi. Kuvassa 12 on esitetty hätäpysäytyslaitteiston periaatteellinen kytkentäkaavio. Kun hätäpysäytyspainiketta painetaan, ohjausjärjestelmä lähettää robotin verkkoon Ethernet-yhteyden kautta pysäytyssignaalin. Pysäytyssignaalin aktivoituessa robotti lopettaa kaikki käynnissä olevat toiminnot ja pysäyttää itsensä nopeimmalla mahdollisella tavalla. Samaan aikaan ohjausjärjestelmä lähettää lyhyen ohjelmoidun viiveen jälkeen tehonkatkaisusignaalin



**Kuva 12. Järjestelmän kokonaiskytkentä**

tehonsyötölle. Robotin rakenteellisten ja komponenttikohtaisten ominaisuuksien takia robotilla menee lyhyt aika pysähtyä ja pysäyttää turvallisesti kaikki toimenpiteensä. Tämän takia lyhyen viiveen ohjelmointi tehonsyötölle lähtevässä signaalissa on tärkeää. Tällöin voidaan varmistaa, että robotti pysyy ehjänä ja toimintakuntoisena pysähtymisen aikana. Jos robotti ei kuitenkaan syystä tai toisesta lopeta toimintaansa ja pysähdy, se menettää kaikki tehonsa tehonkatkaisun ansiosta. Tämä toimenpide saattaa kuitenkin vaurioittaa robottia, mutta tärkeämpää on estää mahdollisten lisävahinkojen syntyminen ympäristöön ja alueella oleviin ihmisiin.

Järjestelmä on siis suunniteltu siten, että robotin ja tehonsyötön pysäytysprosessit ovat toisistaan riippumattomia. Tämä riippumattomuus on ratkaisevan tärkeää hätäpysäytysjärjestelmän luotettavuuden ja toimivuuden kannalta. Jos robotti ei sammu odotetusti, tehonsyöttö sammuu silti, jolloin robotti pysähtyy välittömästi ja mahdolliset vaaratilanteet poistuvat.

## 5. YHTEENVETO

Hätäpysäytyslaitteiston käyttöönotto on välttämätöntä erilaisissa teollisuus- ja tuotantoympäristöissä henkilöstön ja laitteiden turvallisuuden varmistamiseksi. Robominers-hankkeen modulaarisen robotin hätäpysäytystoiminto on kriittinen turvallisuusominaisuus, jonka tarkoituksena on tarjota nopea ja luotettava keino pysäyttää robotin toiminta hätätilanteessa. Sen ensisijaisena tavoitteena on estää ihmiskäyttäjien ja lähellä olevien henkilöiden vahingoittuminen sekä vähentää robotille ja ympäröiville laitteille aiheutuvien vahinkojen riskiä. Hätäpysäytystoiminto on olennainen osa modulaarisen robotin turvallisen ja vastuullisen käytön varmistamisessa erilaisissa sovelluksissa.

Hätäpysäytysjärjestelmän kokonaisuus koostuu siis hätäpysäytyslaitteistosta ja pysäytysvyöhykkeestä. Laitteisto on yhteydessä robotin verkkoon ja tehonsyöttöön ohjausjärjestelmän kautta. Ohjausjärjestelmään on kytketty tässä tapauksessa vain hätäpysäytyspainikkeita ja nollauspainike. Toimilaitteet sammuttamalla robotti saadaan pysäytettyä ja tämän jälkeen katkaistua tehonsyöttö. Tehonsyötön katkaisu on kuitenkin riippumaton robotin pysähtymisestä, eli teho katkeaa, vaikka robotti ei ole pysähtynyt.

Teknologian kehittyessä langattomat hätäpysäytyslaitteistot ovat tulleet perinteisten langallisten laitteistojen rinnalle ja tarjoavat vaihtoehtoisia ratkaisuja riskien vähentämiseksi. Langattoman laitteiston käyttöönotossa on kuitenkin muutamia huomioonotettavia asioita. Luotettavan langattoman yhteyden ja laitteistolle riittävän akun keston varmistaminen ovat ratkaisevan tärkeitä. Langallisen toteutuksen voisi puolestaan tehdä perinteisillä turvareleillä tai joustavimmilla ja konfiguroitavilla turvaohjaimilla. Turvaohjaimet ovat hyödyllisiä, kun turvalaitteita on kytkettävä sarjaan samaan lähtöön ja niitä on useampia. Työssä esille tuotu Banner SC10-2ROE on hyvä esimerkki monipuolisesta ja konfiguroitavasta turvaohjaimesta.



# LÄHTEET

Banner Engineering. Products. SC10 Series Hybrid Relay. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 29.3.2023): <https://www.bannerengineering.com/za/en/products/part.806222.html>

Banner Engineering. Info. Documents. SC-10 Instruction Manual. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 29.3.2023): <https://info.bannerengineering.com/cs/groups/public/documents/literature/174868.pdf>

Cattron. About us. Blog “Rethink Emergency Stop with Safe-E-Stop”. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 19.3.2023): <https://www.cattron.com/about-us/blog/rethink-emergency-stop-with-safe-e-stop/>

Chen, I-Ming (2015). Modular Robots. In: Nee, A. (eds) Handbook of Manufacturing Engineering and Technology. Springer, London. Saatavissa (viitattu 3.3.2023): [https://doi.org/10.1007/978-1-4471-4670-4\\_100](https://doi.org/10.1007/978-1-4471-4670-4_100)

Euroopan komissio. Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs. Critical raw materials. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 7.3.2023): [https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/critical-raw-materials\\_en](https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/critical-raw-materials_en)

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2006/42/EY. Konedirektiivi. Euroopan unionin virallinen lehti, L157/24. Saatavissa (Viitattu 21.2.2023): <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/ALL/?uri=CELEX%3A32006L0042>

ISO/TS 15066:2016 (2016). Standardi, Robots and robotic devices — Collaborative robots. Suomen Standardoimisliitto, SFS ry.

Lopes, L., Bodo, B., Rossi, C., Henley, S., Žibret, G., Kot-Niewiadomska, A. & Correia, V. 2020 ROBOMINERS – Developing a bio-inspired modular robot-miner for difficult to

access mineral deposits, Adv. Geosci., 54, 99–108. Saatavissa (viitattu 7.3.2023): <https://adgeo.copernicus.org/articles/54/99/2020/>

Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys. METSTA. Verkkosivu. Koneturvallisuusstandardien hierarkia. Saatavissa (viitattu 2.3.2023): <https://metsta.fi/koneturvallisuuden-standardit-metsta/standardisointi/standardien-hierarkia/>

Onninen. Verkkosivu. Saatavissa (Viitattu 19.3.2023): <https://www.onninen.fi/schneider-electric-hata-seis-kotelo-schneider-xalk178f-hata-seis-2a/p/ACF263?term=H%C3%A4t%C3%A4seis%20schneider>

Pilz. PNOZmulti-pienohjaukset. Yleiskatsaus. Verkkosivu. Saatavissa (Viitattu 29.3.2023): <https://www.pilz.com/fi-FI/products/small-controllers>

Robominers. About Robominers. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 2.3.2023): <https://robominers.eu/about/>

STEK. Perustietoa sähköstä. Sähköjärjestelmät. IP-luokitus. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 30.3.2023): <https://stek.fi/perustietoa-sahkosta/sahkojarjestelmat/ip-luokitus/>

SFS-EN 61508-1 (2011). Standardi, Sähköisten/elektronisten/ohjelmoitavien elektronisten turvallisuuteen liittyvien järjestelmien toiminnallinen turvallisuus. Osa 1: Yleiset vaatimukset. Suomen Standardoimisliitto, SFS ry.

SFS-EN IEC 62061:2021 (2021). Standardi, Koneturvallisuus. Turvallisuuteen liittyvien ohjausjärjestelmien toiminnallinen turvallisuus. Suomen Standardoimisliitto, SFS ry.

SFS-EN ISO 10218-2:2011 (2011). Standardi, Robotit ja robotiikkalaitteet. Turvallisuusvaatimukset. Osa 2: Robottijärjestelmät ja niiden yhdistelmät. Suomen Standardoimisliitto, SFS ry.

SFS-EN ISO 13849-1 (2015). Standardi, Koneturvallisuus. Turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmien osat. Osa 1: Yleiset suunnitteluperiaatteet. Suomen Standardoimisliitto, SFS ry.

SFS-EN ISO 13850 (2015). Standardi, Koneturvallisuus. Häätäpysäytys. Suunnitteluperiaatteet. Suomen Standardoimisliitto, SFS ry.

SFS-EN 60204-1:2018 (2018). Standardi, Koneturvallisuus. Koneiden sähkölaitteisto. Osa 1: Yleiset vaatimukset. Suomen Standardoimisliitto, SFS ry.

Tampereen yliopisto. Robominers. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 2.3.2023): <https://www.tuni.fi/fi/tutkimus/robominers>

Turner, J. Europe's rare earth deposits could shore up tech industry. Euroopan komissio. Saatavissa (viitattu 7.3.2023): <https://ec.europa.eu/research-and-innovation/en/horizon-magazine/europes-rare-earth-deposits-could-shore-tech-industry>