

Laajojen koneautomaatio- järjestelmien turvallisuus

Timo Malm, Maarit Kivipuro ja Risto Tiusanen
VTT Valmistustekniikka



ISBN 951-38-5410-8 (nid.)

ISSN 1235-0605 (nid.)

ISBN 951-38-5411-6 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)

ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)

Copyright © Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT) 1998

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT), Vuorimiehentie 5, PL 2000, 02044 VTT
puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 456 4374

Statens tekniska forskningscentral (VTT), Bergsmansvägen 5, PB 2000, 02044 VTT
tel. växel (09) 4561, fax (09) 456 4374

Technical Research Centre of Finland (VTT), Vuorimiehentie 5, P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland
phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 456 4374

VTT Valmistustekniikka, Turvallisuustekniikka, Hermiankatu 8 G, PL 17011, 33101 TAMPERE
puh. vaihde (03) 316 3111, faksi (03) 316 3495

VTT Tillverknings teknik, Säkerhetsteknik, Hermiankatu 8 G, PB 17011, 33101 TAMMERFORS
tel. växel (03) 316 3111, fax (03) 316 3495

VTT Manufacturing Technology, Safety Engineering,
Hermiankatu 8 G, P.O.Box 17011, FIN-33101 TAMPERE, Finland
phone internat. + 358 3 316 3111, fax + 358 3 316 3495

Toimitus Leena Ukoski

Libella Painopalvelu Oy, Espoo 1998

Malm, Timo, Kivipuro, Maarit & Tiusanen, Risto. Laajojen koneautomaatiojärjestelmien turvallisuus [Safety of large automation systems]. Espoo 1998, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1938. 72 s.

Avainsanat automation systems, machine automation, safety, reliability, occupational safety, accident prevention, safety engineering

TIIVISTELMÄ

Aiemmin automaatio toteutettiin erillisillä automaateilla, kun taas nykyään yhä useammin erilliset automaatit yhdistetään laajoiksi automaatiojärjestelmiksi. Suunnittelijan vastuu on kasvanut, koska laajoissa järjestelmissä myös virheiden seuraukset saattavat ulottua koko järjestelmään ja siten myös muualle kuin yksittäisen suunnittelijan suunnittelemaan järjestelmän osaan. Siten myös suunnittelijoiden välinen yhteistyö ja konejärjestelmien välisten rajapintojen vastuun määrittäminen on tärkeää. Myös turvallisuutta järjestelmissä tuotannon näkökohdat on otettava huomioon, koska pysäytettäessä järjestelmä pysähtyy monta konetta eikä vaan yksi. Kaikissa tilanteissa on kuitenkin pystyttävä takaamaan työn turvallisuus. Kun laajassa automaatiojärjestelmässä on riittävästi joustavuutta, on mahdollista erottaa halutut alueet järjestelmästä esim. huoltoa ja häiriönpoistoa varten. Tällöin esim. hätäpysäyttimen painaminen tai järjestelmän portin avaaminen ei pysäytä koko automaatiojärjestelmää vaan ainoastaan osan. Alueiden huolellinen määrittely on tärkeää. Jos pysäytysalueita tai erotettavia alueita on liikaa, tulee järjestelmästä monimutkainen ja kallis. Jos alueita määritellään liian vähän, voidaan pienen rutiinitoimenpiteen vuoksi joutua pysäyttämään jopa koko järjestelmä.

Koska laajassa koneautomaatiojärjestelmässä on paljon koneita ja kunkin tekeminen erikseen turvallisesti on hankalaa, perustetaan järjestelmän turvallisuus koko tuotantoalueen eristämiseen. Niinpä automaatiojärjestelmästä muodostuu laaja koneiden toiminta-alue, jonne ihminen menee vain erikoistapauksissa. Ihmiselle sallitun ja kielletyn alueen rajapintaa valvotaan tai kulku vaara-alueelle tehdään vaikeaksi.

Työntekijöiden sallittu kulku järjestelmän sisälle järjestetään yleensä portin kautta, jonka kiinnioloa valvotaan ja joka on mahdollisesti vielä lukittu. Ennen työntekijän menoa järjestelmän sisälle järjestelmän vaaralliset osat pyritään ajamaan sellaiseen tilaan, josta jatkaminen on kohtuullisen helppoa ihmisen poistumisen jälkeen. Tavaroille tarkoitettujen kulkuaukkojen valvonta on vaikeampaa, koska niissä järjestelmän pitää erottaa ihminen tavaroista tai ihmisen kulku tulee tehdä riittävän vaikeaksi. Tässä julkaisussa kerrotaan erityisesti niistä menetelmistä, joilla purku- ja lastauspaikoilla erotetaan ihmiset paketeista ja estetään ihmisen pääsy käynnissä olevalle vaaralliselle alueelle.

Malm, Timo, Kivipuro, Maarit & Tiusanen, Risto. Laajojen koneautomaatiojärjestelmien turvallisuus [Safety of large automation systems]. Espoo 1998, Technical Research Centre of Finland, VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1938. 72 p.

Keywords automation systems, machine automation, safety, reliability, occupational safety, accident prevention, safety engineering

ABSTRACT

Increasingly often, machines are communicating with each other and material is transferred automatically from machine to machine. Together the machines construct large automation systems, such as FM-systems, packaging systems or assembly lines. In large automation systems, reliability and safety are even more important factors than in separate systems, especially, since the consequences of a failure can be much broader. The consequences can be minimised by dividing the area into sectors which can be stopped separately. The safety measures can then be concentrated on the border of the system making the safety issue easier to handle. Workers may go inside the system through doors, when appropriate safety functions are on, but not through material input ways, since there are not many safety measures inside the system. Safety measures are needed in order to prevent a person from going into the automatically running machine system. [Malm 1998] This report introduces several methods how to design the safety measures.

ALKUSANAT

Tähän julkaisuun on kerätty ”Laajojen vaara-alueiden turvajärjestelmät” -tutkimuksen tuloksia. Hankkeeseen ovat osallistuneet Timo Malm, Maarit Kivipuro ja Risto Tiusanen VTT Valmistustekniikan tutkimusyksiköstä, Hannu Mäki-Rahkola ja Antti Otava Pesmel Oy:stä, Veikko Nuortio Cimcorp Oy:stä, Kari Aho Fastems Oy Mercantile Ab:stä, Mika Willström Stig Wahlström Oy:stä ja Matti Sundquist sosiaali- ja terveystieteiden tutkimuskeskuksesta. Maarit Kivipuro on osallistunut kohdan 6.3 kirjoittamiseen ja Risto Tiusanen kohdan 6.2 kirjoittamiseen. Kiitämme hankkeeseen osallistuneita yhteistyöstä ja avusta. Hankkeen päärahoittaja on ollut Työsuojelurahasto.

Tämä raportti julkaistaan Työsuojelurahaston avustuksella.

Tampereella 19.11.1998

Tekijät

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ.....	3
ABSTRACT.....	4
ALKUSANAT	5
1. JOHDANTO.....	7
2. VAATIMUKSET	8
2.1 Yleisiä turvallisuusvaatimuksia	8
2.2 Konejärjestelmän suunnittelu	9
3. TURVALAITTEET JA SUOJUKSET	15
3.1 Suojat ja koneen toimintaan kytketyt suojat	16
3.2 Optiset turva-anturit.....	18
3.3 Muut turva-anturit.....	22
3.3.1 Kosketusanturit	23
3.3.2 Passiiviset infrapunailmaisimet.....	28
3.3.3 Ultraäänianturit	29
3.3.4 Mikroaaltoanturit	31
3.3.5 Kamerajärjestelmät	32
4. OHJAUSJÄRJESTELMÄT.....	34
4.1 Pysäytysalueiden hallinta.....	36
4.2 Pysäytyksen toteuttaminen erilaisilla ohjausjärjestelmillä.....	36
5. VAARA-ALUEEN ERISTÄMINEN.....	44
5.1 Menetelmiä lastaus- ja purkupaikoille.....	44
5.2 Yleisiä ohjeita	53
6. SOVELLUSESIMERKIT	55
6.1 Kuvaputkien pakkausjärjestelmä.....	55
6.2 FM-järjestelmän lataus- ja purkupaikat	58
6.3 Teräsrullien pakkausjärjestelmä	62
7. YHTEENVETO	65
LÄHDELUETTELO.....	70

1. JOHDANTO

Yhä useammin koneautomaatioissa tuotantoprosessia pyritään nopeuttamaan rakentamalla laaja automaatiojärjestelmä, jossa tuotteet kuljetetaan automaattisesti koneelta toiselle. Ihmisellä on vain vähän tehtäviä järjestelmän sisällä. Usein ihmisen päätehtävänä on syöttää järjestelmään tuotteita ja ottaa vastaan järjestelmästä tulevia valmiita tuotteita. Kuitenkin ihmisillä on välillä tarve päästä järjestelmään esim. huoltotehtäviin tai vain oikaisemaan järjestelmän läpi. Järjestelmän sisällä olevat koneet aiheuttavat ihmisille kuitenkin monenlaisia vaaroja, ja siksi turvallisuustekniset toimenpiteet ovat tarpeen. Yksi parhaista keinoista turvallisuuden parantamiseksi on järjestää sujuva ja häiriötön tuotanto sekä selkeät käyttökelpoiset kulkureitit ihmisille. Selkein tapa järjestää turvallisuustekniset toimenpiteet on rajata koneiden toiminta-alue laajaksi eristetyksi kokonaisuudeksi. Automaatiojärjestelmissä muodostuu laaja koneiden toiminta-alue, jonne ihminen menee vain erikoistapauksissa. Ihmiselle sallitun ja kielletyn alueen rajapintaa valvotaan tai kulku vaara-alueelle tehdään vaikeaksi. Ihmisillä on kuitenkin monia tehtäviä järjestelmän sisäpuolella, ja siksi suunnittelussa pitää ottaa huomioon ihmisen kulku järjestelmään. Ihmisen pitää päästä turvallisesti järjestelmään ja toisaalta tuotantoa ei pidä pysäyttää tarpeettomasti.

Luvussa kaksi kerrotaan yleisistä koneita koskevista vaatimuksista ja suunnitteluohjeista, joita suunnittelijat ja käyttäjät tarvitsevat koneiden hyväksyttävän riskitason määrittämiseen. Luvussa kolme esitellään tyypillisiä automaatiojärjestelmässä käytettäviä turvalaitteita. Turvalaitteiden valinnassa on tärkeää tuntee turvalaitteiden ominaisuuksia ja teknisiä rajoituksia. Luvussa neljä tuodaan esiin automaatiojärjestelmän ohjausjärjestelmään liittyviä turvallisuustekijöitä. Ohjausjärjestelmien turvallisuus on tullut yhä tärkeämmäksi tekijäksi järjestelmien turvallisuussuunnittelussa, sillä ohjausjärjestelmistä on tullut yhä monimutkaisempia ja toimilaitteiden väärät toiminnat voivat saada aikaan suurta vahinkoa. Luvussa viisi annetaan esimerkkejä keinoista, joilla automaatiojärjestelmän lataus- ja purkupaikkojen turvallisuustekniset järjestelyt voidaan hoitaa. Luvussa kuusi esitellään sovellusesimerkein turvallisuusteknillisten järjestelyjen toteutetuksia. Sovellusesimerkkeinä on kuvaputkien pakkausjärjestelmä, teräsrullien pakkausjärjestelmä sekä erilaisia joustavan tuotantojärjestelmän lastauspaikkoja.

2. VAATIMUKSET

2.1 Yleisiä turvallisuusvaatimuksia

Koneiden markkinoille tuontiin vaikuttavat monet eurooppalaiset direktiivit eli lainsäädäntövelvoitteet. Tärkeimpiä koneautomaatioon liittyvien direktiivien mukaisia säädöksiä ovat konepääätös (Valtioneuvoston päätös koneiden turvallisuudesta 1314/94, vastaa konedirektiiviä), käyttöpääätös (VNp 1403/93, vastaa direktiiviä työvälineiden turvallisesta käytöstä) ja EMC-direktiiviin (89/336/EEC) liittyvät kauppa- ja teollisuusministeriön päätökset [MET 1993]. Konepääätös määrittelee ne turvallisuusvaatimukset ja toimintatavat, joilla koneen osoitetaan täyttävän olennaiset turvallisuusvaatimukset. Valmistajan arvioija varmistaa ensisijaisesti itse, että hänen tuotteensa täyttää olennaiset terveys- ja turvallisuusvaatimukset, ja kiinnittää koneeseensa CE-merkinnän. Tällöin kone voidaan saattaa markkinoille koko Euroopan talousalueella (ETA).

CE-merkinnän käyttö osoittaa sen, että valmistaja on ottanut omien arvioidensa mukaan huomioon olennaiset turvallisuusvaatimukset (konedirektiivin liite 1). Konedirektiivin liitteessä 4 mainitaan koneet, joille on tehtävä tyyppitarkastus ennen koneen saattamista markkinoille ETA-alueella. [Konepääätös 1994, MET 1997]

Yhdenmukaistetuissa eurooppalaisissa standardeissa on esitetty tekninen turvallisuustaso, joka vastaa konedirektiivin liitteen 1 olennaisia terveys- ja turvallisuusvaatimuksia. Jos yhdenmukaistettua standardia ei ole käytettävissä, voidaan käyttää apuna muita vastaavia standardiehdotuksia tai muita ohjeita. Nämä eivät kuitenkaan takaa koneen vaatimustenmukaisuutta. Yhdenmukaistetut standardit ovat ohjeellisia, mutta toisaalta niistä poikkeamiseen voi viranomaisen vaatia hyvät perustelut. Konedirektiiviin liittyviä standardeja oli valmisteilla noin 600 kpl v. 1997, mutta silti on paljon koneita ja laitteita, joita koskevia standardeja ei ole valmisteilla. Tällöin pitää tulkita konedirektiivin liitteen 1 vaatimuksia ja käyttää esim. olemassa olevia vastaavia alaa koskevia standardeja ja yleisiä turvallisuutta koskevia ns. A- ja B-tyypin SFS-EN-standardeja ja muita ohjeita. A-tyypin standardeissa esitetään perusteet ja näkökohdat, joita voidaan soveltaa kaikkiin koneisiin. B-tyypin standardit käsittelevät yhtä näkökohtaa (B1) tai turvalaitetta (B2), jota voidaan käyttää useissa koneryhmissä. [SFS-EN 292-1]

Hyvällä suunnittelulla luodaan perusta turvalliselle konejärjestelmälle. Suunnittelija tuntee tekemiensä komponenttivalintojen ja suunnittelemiensa rakenteiden perusteet. Tämän vuoksi juuri suunnittelijan tulee kirjata valintojensa turvallisuuteen vaikuttavat perusteet ja tehdä riskin arviointi [MET 1997]. Koska suunnittelijan oletetaan tietävän paljon koneen turvallisuudesta, hänelle on jätetty

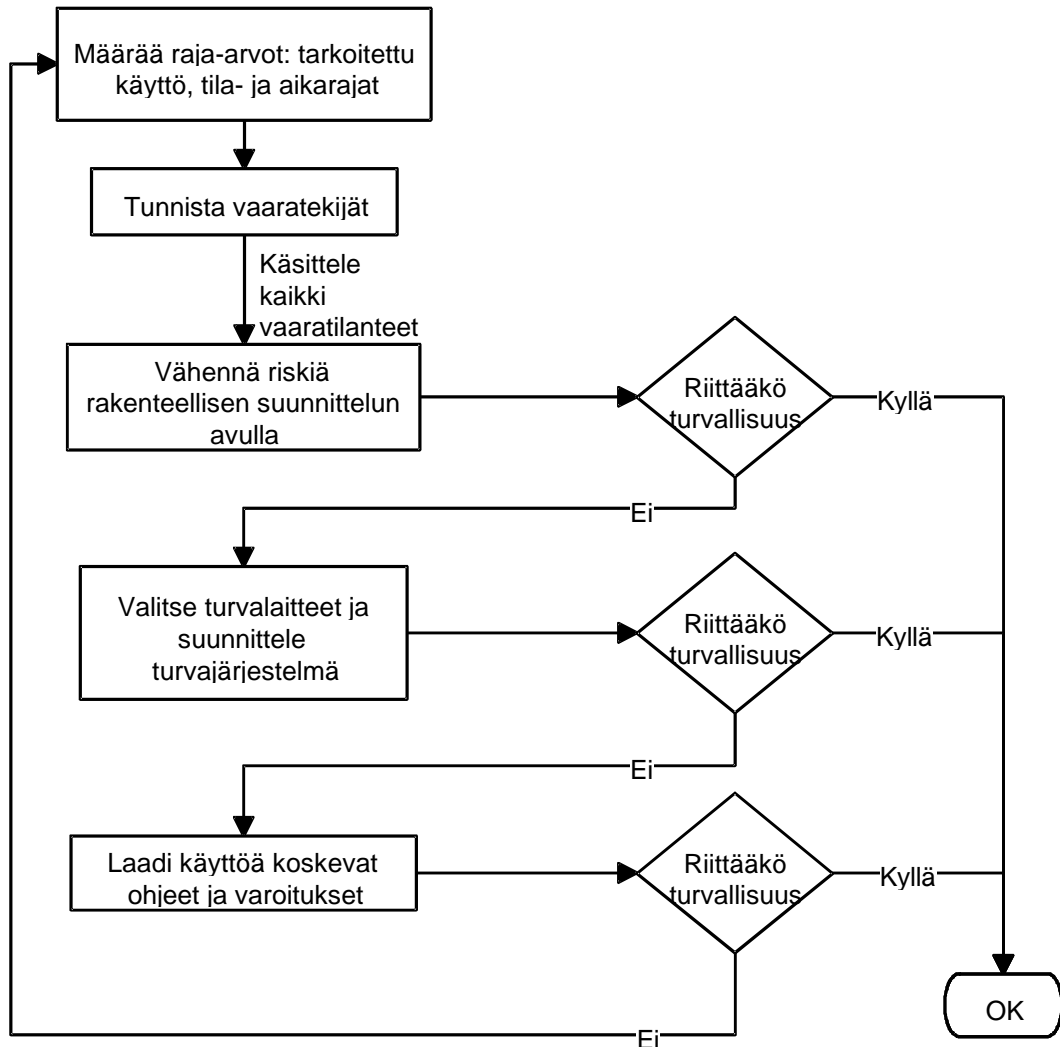
myös paljon vastuuta. Suunnittelijan vastuusta on säädetty jo vuoden 1987 (27/87) työturvallisuuslain muutoksessa (40 b §).

Laaja koneautomaatiojärjestelmä muodostuu useista koneista, jolloin järjestelmää tarkastellaan kokonaisuutena. Koneet lasketaan koneyhdistelmäksi, jos ne on yhdistetty toisiinsa mekaanisesti (esim. kuljettimet, putket), sähköisesti (ohjaussignaalit) tai muulla tavoin kiinteästi toimimaan yhtenä kokonaisuutena. Koneyhdistelmä voi muodostua CE-merkityistä koneista (valmistajan 2 A -vakuutus) tai puolivalmiista koneista (valmistajan 2 B -vakuutus). Puolivalmiille koneelle ei yleensä pystytä tekemään kattavaa riskinarviointia ja siksi valmistaja julistaa tuotteen puolivalmisteeksi, jota ei sellaisenaan saa käyttää. Puolivalmisteeksi ei sen sijaan saa julistaa tuotetta, joka on muutoin valmis, mutta siitä puuttuu turvalaitteet. Koneita ei saa toimittaa ilman turvalaitteita. [Anon. 1997]

Koneyhdistelmäkokonaisuudelle tehdään riskin arviointi, samoin järjestelmän epätäydellisille koneille, kokonaisuuden turvallisuus varmistetaan ja lopuksi kokonaisuus CE-merkitään. Koneyhdistelmästä ottaa yksi osapuoli kokonaisvastuun ja hoitaa asiapaperit kuntoon. Menettelyn tarkoituksena on se, että koneiden rajapinnoillekin löytyy aina vastuunkantaja. Kokonaisvastuunottaja on tavallisesti pääurakoitsija, suurin toimittaja tai mahdollisesti työpaikan työnantaja. Kokonaisvastuunottaja kannattaa sopia jo kaupantekovaiheessa. [Anon. 1997]

2.2 Konejärjestelmän suunnittelu

Koneen suunnittelussa otetaan huomioon (SFS-EN 292-1 mukaan) myös koneen valmistus, kuljetus, käyttöönotto, käyttö, käytöstä poisto ja purku sekä kaikkiin vaiheisiin (paitsi valmistukseen) liittyvä ohjeiden laatiminen. Suunnitteluun liittyviä ohjeita ja toimenpiteiden järjestys määritellään standardeissa SFS-EN 292 -1 ja -2 (Yleiset suunnitteluohjeet). Suunnittelu tehdään kuvassa 1 esitettyyn tapaan. [SFS-EN 292-1 1992, SFS-EN 292-2 1992]

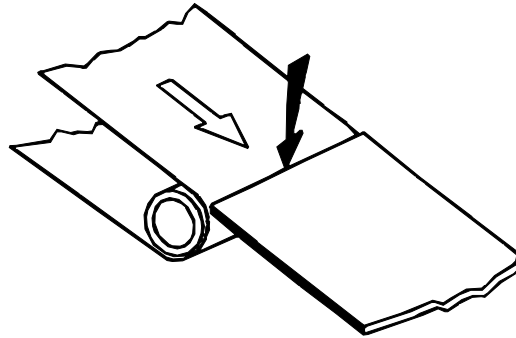


Kuva 1. Turvallisuussuunnittelun tehtävät ja järjestys [Malm 1996].

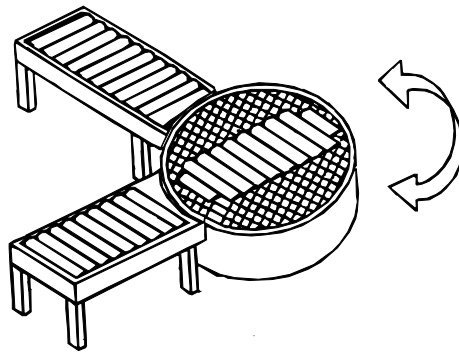
Koneen raja-arvojen määrittämisessä käsitellään tarkoitettu käyttö (myös ennakoitavissa oleva väärinkäyttö otetaan huomioon), tilarajat (liikkumistilat, käyttäjä-kone- ja käyttäjä-energiarajapinnat jne.) ja aikarajat (osien kesto, huoltovälit jne.).

Vaaratekijöiden tunnistamisessa ja riskin arvioinnissa käydään läpi koneen koko elinkaari, kaikki toimintatilat (tuotanto, häiriötila, huolto, asennus jne.) ja mahdollinen väärinkäyttö. Asennuksessa, kuljetuksessa ja käytöstäpoistossa huomioitavia tekijöitä ovat ohjeet mm. koneen nostamiseen, kuljetusasentoon sekä kokoamis- ja purkamisjärjestykseen. Riskin arvioinnissa käytetään apuna vaaratekijälistaa, joka saadaan konekohtaisesta standardista, konepäätöksestä tai standardista SFS-EN 1050 [SFS-EN 1050 1997]. Turvallisuuden kannalta juuri vaaratekijän tunnistaminen on tärkeää. Tapaturman syynä on usein tapahtumaketju, jota ei ole ennakoitu.

SFS-EN 292-1 standardin mukaan ensisijaisena keinona vaaran minimoimiseen käytetään vaaran poistamista. Tämä tarkoittaa sitä, että järjestelmästä poistetaan puristumisvaarat, nielut ja leikkautumiskohdat, lasketaan voimat ja nopeudet riittävän pieniksi sekä käytetään kestäviä rakenteita ja alhaista jännitettä. Turvavälien suuruuksia on mainittu standardissa SFS-EN 349. Esim. kehon turvaväli on 500 mm. Kuvassa 2 on esimerkki nielun riskien minimoimisesta käyttämällä riittävän pientä rakoja. Kuvassa 3 on vastaavasti esitetty, kuinka leikkautumisvaaraa on minimoitu järjestämällä raot riittävän pieniksi.

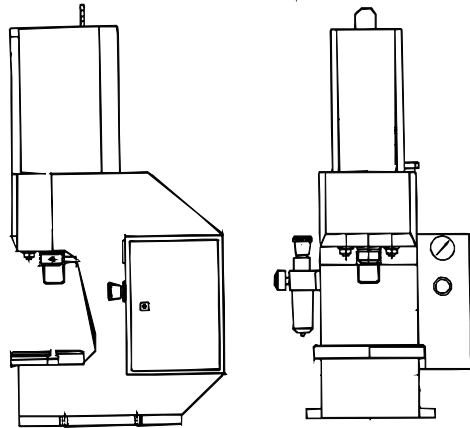


Kuva 2. Esimerkki tyypillisestä nielusta. Kun nielu mitoitetaan riittävän pieneksi (5 mm), puristumisvaara on mitätön. [prEN 619 1996]



Kuva 3. Esimerkki siitä, kuinka leikkautumisvaara on saatu minimoitua järjestämällä pöydän ja kuljettimen välinen rako riittävän pieneksi (5 mm) [prEN 619 1996].

Puristimien vaaraa vähennetään tuotantokäytössä tavallisesti suojuksin ja turvalaittein, mutta asetusajossa normaalit turvalaitteet eivät ole käytössä ja silloin käytetään mm. hidasta nopeutta sekä pakkokäyttöisiä hallintalaitteita puristumisvaaran minimoimiseksi (vrt. SFS-EN 292-2 kohta 3.7.10).



Kuva 4. Esimerkki puristimesta. Puristimen asetusajo on turvallista, kun nopeus on alhainen (10 mm/s) ja liikettä hallitaan pakkokäyttöisellä kolmiasentoisella kytkimellä. [Pneumatic presses - Safety 1995]

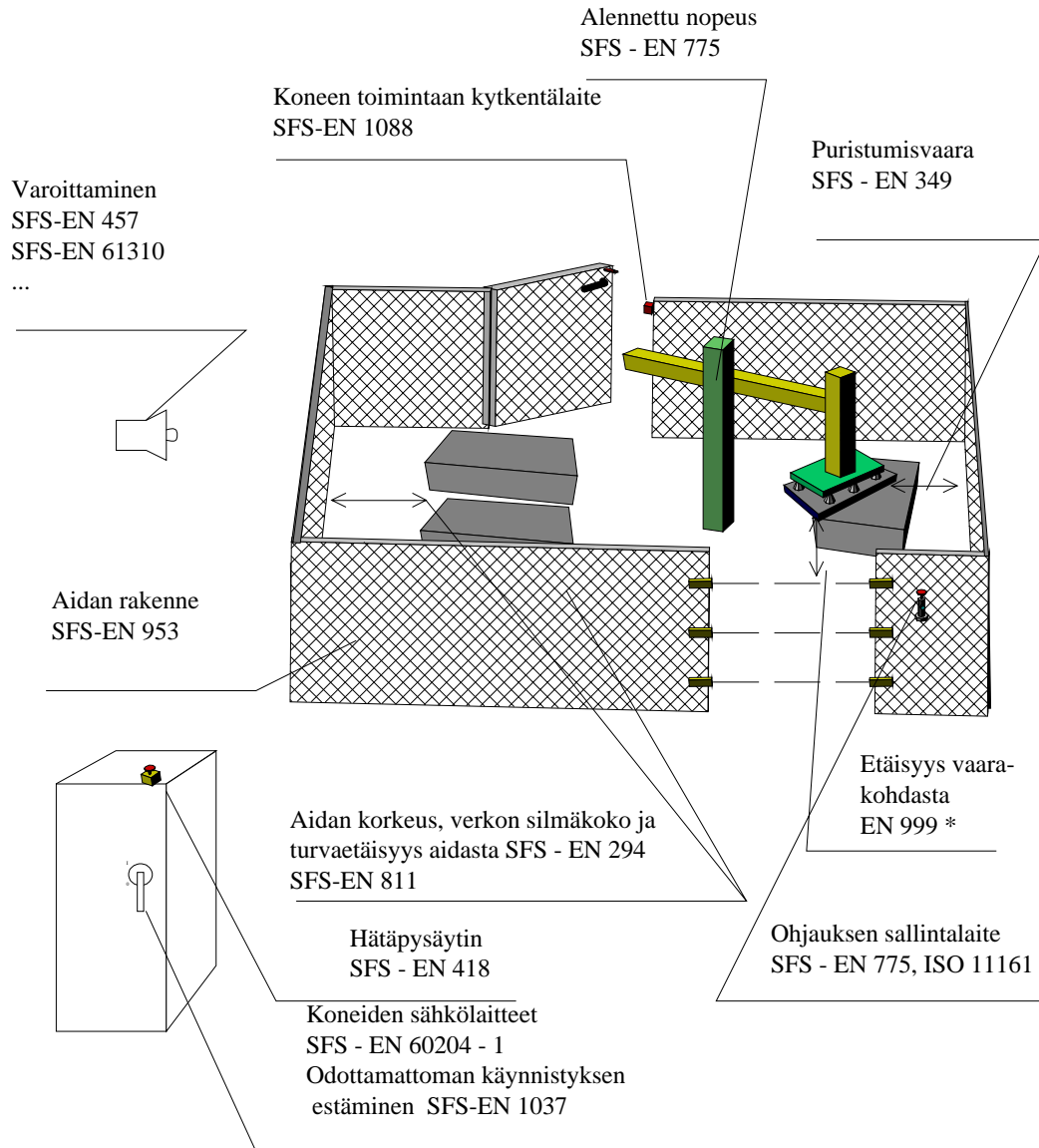
Jos vaaraa ei pystytä poistamaan koneesta, käytetään turvalaitteita ja suojuksia vaaran minimoimiseksi. Turvalaitteista lasketaan turvaetäisyys havaintokohdasta vaarakohtaan seuraavalla kaavalla:

Turvaetäisyys = ihmisen nopeus (kävelynopeus 1 600 mm/s) X pysähtymisaika (koneen + turvalaitteen) + ihmisen ulottuvuus.

Esim. kolmisäteisellä valokennolla saadaan turvaetäisyys [prEN 999 1995]:

$$s(t) = s(0,2 \text{ s}) = 1\,600 \times 0,2 + 850 = 1\,170 \text{ mm, kun pysähtymisaika on } 200 \text{ ms}$$

Ulottuvuus aidan yli eli turvaetäisyys aidasta vaarakohtaan katsotaan taulukosta. Matalin aita on yleensä 1,4 m (SFS-EN 294 taulukko 2), jolloin turvaetäisyys on 900 mm tai 1 100 mm vaarasta riippuen, mutta esim. hyllystöhiseltilä edellytetään 2 m korkeaa aitaa (turvaetäisyys 350 mm tai 600 mm) [SFS-EN 528 1996, SFS-EN 294 1993]. Kuvassa 5 on esitetty joitain turvalaitteisiin ja suojuksiin liittyviä yleisiä standardeja. Tarkempia ohjeita on konekohtaisissa standardeista. Muita kuin kuvassa esitettyjä robottijärjestelmiin yleisesti liittyviä aiheita ovat mm. melu, säteily, haitalliset päästöt, palovaara ja kulutiet.



Kuva 5. Robottisolun turvalaitteisiin ja suojuksiin liittyviä standardeja. (*=standardi valmisteilla)

Ihmisen pääsyä vaara-alueelle valvotaan tavallisesti koneen toimintaan kytketyillä suojuksilla [SFS-EN 1088 1996], valokennoilla, valoverhoilla ja tuntomatoilla. Jos valvotaan jatkuvaa ihmisen oloa vaara-alueella, käytetään yleensä tuntomattoja tai valoverhoviuhkaa, joka valvoo ympyrän sektorin muotoista aluetta. Kaikista edellä mainituista laitteista on markkinoilla olemassa turvamalleja ja tavallisia malleja. Turvamallit diagnosoivat omaa toimintakuntoaan ja vian ilmetessä pysäyttävät vaarallisen koneen. Tavallisilla malleilla vian seuraukset ovat ennalta arvaamattomia. Tarkemmin turvalaitteiden valintaa on käsitelty viitteessä ”Koneturvallisuus. Turvalaitteiden valinta ja asentaminen” [Malm 1996].

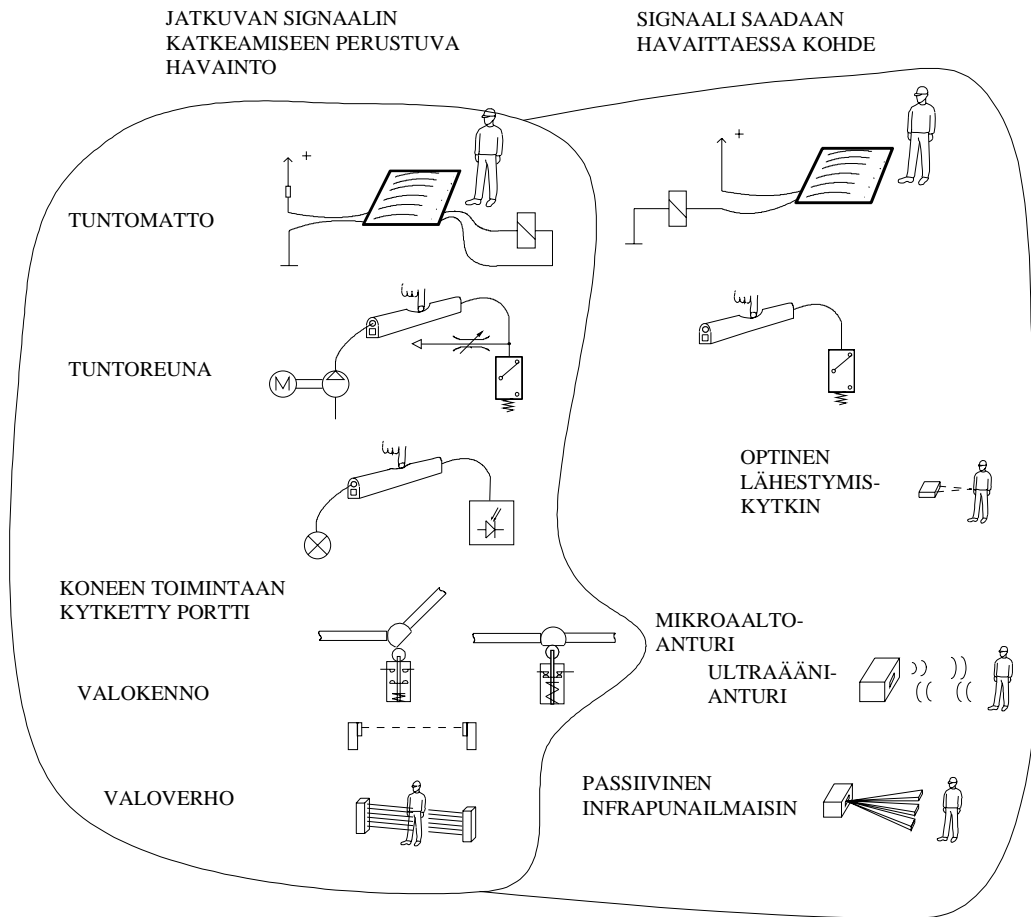
Jos vaaroja on vähennetty rakenteiden, suojusten ja turvalaitteiden suunnittelulla mutta koneeseen on vielä jäänyt riskitekijöitä, pitää arvioida, riittävätkö esim. varoitukset, ohjeet, koulutus tai henkilökohtaiset suojaimet vai pitääkö koneen rakennetta muuttaa turvallisemmaksi. Varoituksilla ja ohjeilla ei voi paikata huonoa suunnittelua. Jos jäljelle jäänyt riski on pieni, pitää suunnitella käyttäjille tiedottamisen tavat. Jos riski on kohtalaisen suuri, tarvitaan koulutusta ja varoituskylttejä, kun taas riskin ollessa pieni riittää maininta käyttöohjeissa.

Koneissa ja konejärjestelmissä tarvitaan myös lisätoimenpiteitä, joilla pystytään minimoimaan riskiä tai vahinkoa. Tavallisimpia lisävarotoimenpiteisiin liittyviä keinoja ja laitteita ovat hätäpysäytyslaitteet, energian purkamiseen tarkoitetut laitteet, huollettavuuden parantaminen, painavien koneenosien käsittelyyn järjestetyt turvalliset keinot, koneen vakavuuden varmistamiseen liittyvät keinot, hätäpoistumistiet ja vian etsintää ja poistamista avustavat diagnostiikkajärjestelmät. Paineilmajärjestelmissä kannattaa kiinnittää huomiota erityisesti odottamattomaan käynnistykseen. Odottamatonta käynnistystä käsitellään sitä koskevassa standardissa [SFS-EN 1037 1996].

Hätäpysäytykseen liittyviä vaatimuksia on esitetty mm. standardissa SFS - EN 418 [1993], konedirektiivissä ja koneiden sähkölaitteita käsittelevässä standardissa SFS - EN 60204 - 1 [1993]. Yleensä hätäpysäytin on kaikilla ohjauspaikoilla ja esim. kuljettimien vieressä 10 m välein [prEN 619 1996].

3. TURVALAITTEET JA SUOJUKSET

Markkinoilla on moniin eri fysikaalisiin periaatteisiin perustuvia laitteita, joita myydään myös turvalaitekäyttöön. Monet laitteista ja fysikaalisista periaatteista sisältävät puutteita, joiden takia niiden käyttö turvalaitteissa on harkittava tapauskohtaisesti. Kaikkia laitteita ei ole suunniteltu turvallisesti vikaantuviksi, joten turvalaitekäytössä olevasta anturista on syytä varmistaa sen soveltuvuus turvalaitteeksi. Hyväksi koettuja antureita ovat valokennot, valoverhot ja kosketusanturit. Näissäkin laitteissa on turvakäyttöön rajoitetusti soveltuvia malleja. Tavallisesti vasta, kun edellä mainittuja antureita ei ole voitu käyttää, on käytetty muita antureita. Kuvassa 6 on vasemmalla turvalliseen jatkuvaan signaaliin ja oikealla havaintohetkellä tulevaan signaaliin perustuvia havainnointimenetelmiä. Näistä siis tulisi aina pyrkiä käyttämään tunnistinta, jonka toiminta perustuu signaalin katkeamiseen perustuvaan havaintoon. Tämä toiminta ei ole tae turvallisuudesta, vaan se on luotettavan toiminnan edellytys. Joissain tilanteissa on kuitenkin välttämätöntä luottaa tunnistimiin, joiden toiminta perustuu signaalin havaitsemiseen, mutta tällöin suunnittelijan pitää tunnistaa mahdolliset luotettavuusongelmat.



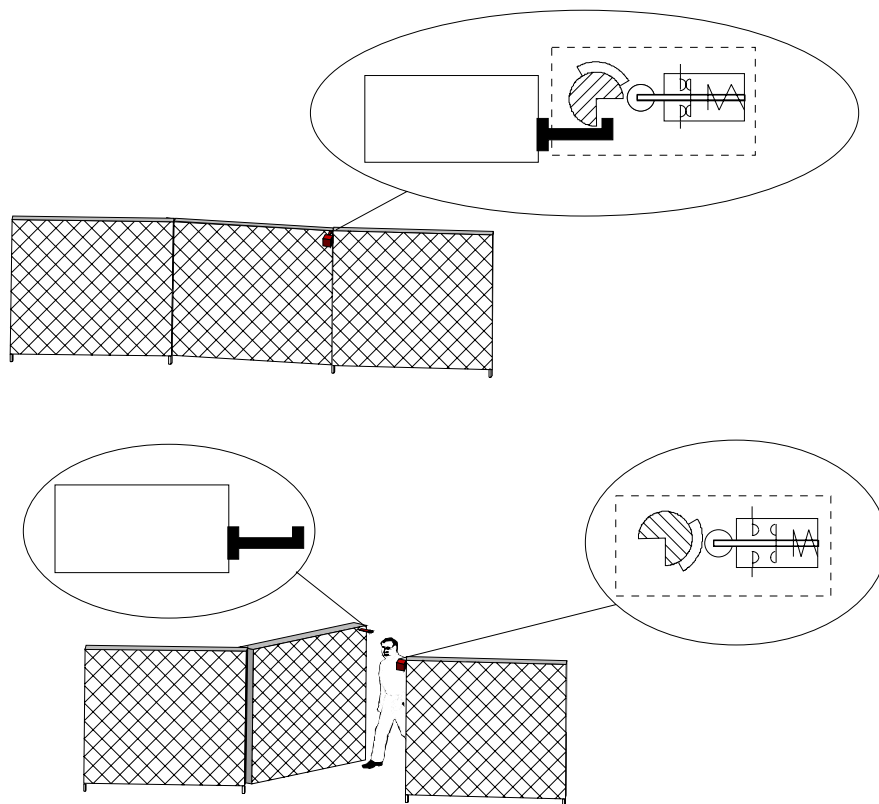
Kuva 6. Signaali saadaan tai menetetään anturityypistä riippuen kohteen tullessa havaintoalueelle. Jatkuvan signaalin katkeamiseen perustuvaa havaintoa käytetään tarvittaessa korkeaa turvallisuus- ja luotettavuustasoa.

3.1 Suojat ja koneen toimintaan kytketyt suojat

Koneen toimintaan kytketyissä suojuksissa käytetään yleensä rajakytkimiä tai avaimia siten, että portin avautuessa vaarallisen koneen toimilaitteilta katkaistaan virta. Tällöin esim. porttiin kytketty rajakytkin katkaisee ohjausvirtapiirin. Koneen toimintaankytkentälaitetta suunniteltaessa on varmistettava, ettei ihminen pääse portin kautta liikkuvan koneen vaara-alueelle (kävelynopeudeksi oletetaan 1,6 m/s). Tämä voidaan järjestää sijoittamalla portti riittävän kauaksi vaarakohdasta, järjestämällä viive portin avaukseen tai sallimalla portin avaus vasta, kun kone on pysähtynyt. Laitteeseen voi liittyä myös tunnistimia, joilla varmistetaan, että kone on pysähtynyt, ennen kuin ihminen pääsee koneen viereen.

Kuvassa 7 on esitetty erään kielityyppisen rajakytkimen periaate. Portin ollessa kiinni oveen kiinnitetty avain on rajakytkimen sisällä ja kytkimen koskettimet ovat kiinni. Kun portti avataan, avain avaa koskettimet. Jos koskettimet hitsautuisivat

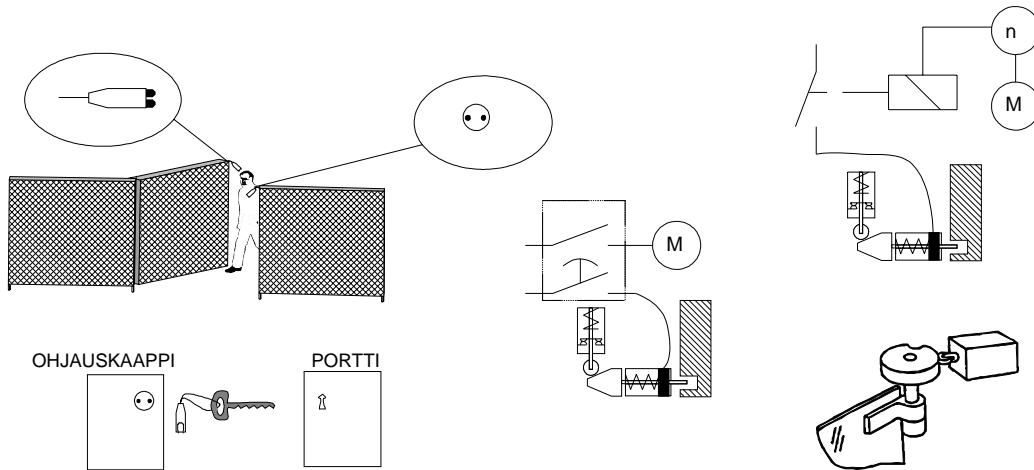
kiinni, niin portti pysyy kiinni, ellei sitä avata niin suurella voimalla, että koskettimet irtoavat. Tällä periaatteella voidaan luotettavasti sanoa, että avaimen ollessa kytkimestä poissa kytkimen koskettimet ovat auki. Vaarallisia vikoja ovat kuitenkin esim. avaimen katkeaminen tai irtoaminen. Myös portin jäykkyyteen pitää kiinnittää huomiota, sillä vetelä portti voi aiheuttaa kielen huonon kohdistumisen kytkimeen ja siten kytkimen tai kielen vaurioitumisen. Kielirajakytkimistä on olemassa myös lukollisia malleja. Lukko aukeaa vasta, kun avaaminen sallitaan sähköisesti esim. ajastinpiirillä tai moottorin pyörimisen tunnistimilla. Tämän tyyppisiä ratkaisuja käytetään silloin, kun valvottavan järjestelmän pysähtymisaika on pitkä. Portin avaaminen sallitaan vasta, kun kone on pysähtynyt tai ihminen ei ehdi portilta vaarakohtaan ennen vaaran poistumista.



Kuva 7. Kielirajakytkimen käyttö kytkettäessä portti koneen toimintaan. Suojusta avattaessa avain vääntää vastakappaletta ja avaa pakkotoimisesti koskettimet.

Kuvassa 8 esitetään erilaisia koneen toimintaan kytkentälaitteita. Mm. hyllystöhisseissä paljon käytetty keino on kuvassa vasemmalla alhaalla, jossa samalla avaimella kytketään ohjausjärjestelmästä virta pois ja avataan portti. Vasemmalla ylhäällä esitetyssä keinoissa virtakaapeli on asennettu porttiin siten, että portin saa auki vain avaamalla pistokkeen. Menetelmä on harvinainen ja edullinen, mutta hankala käyttää. Keskellä ja oikealla ylhäällä esitetään portin sähkölukintamenetelmiä, joiden lisäksi siis tarvitaan vielä portin asennon tunnistus. Lukintamenetelmät ovat tarpeen, kun koneen pysähtymisaika on pitkä. Oikealla alhaalla portin asema saadaan selville saranatappiin kiinnitetyn epäkeskeisen pyörän

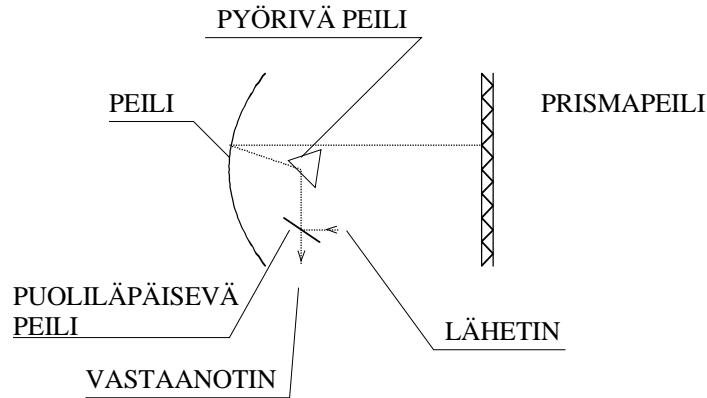
ja rajakytkimen avulla. Menetelmää käytettiin aiemmin paljon, mutta kielirajakytkin on nykyään tavallisempi helpomman asennettavuutensa vuoksi. Rajakytkintä käytettäessä pitää huomata, että rajakytkimen koskettimet aukeavat (pakkotoimisesti) rullapäähän vaikuttavan voiman avulla eivätkä esim. jousen vaikutuksesta. Tämän vuoksi saranallinen ovi ei saa suoraan vaikuttaa rajakytkimeen, kuten kuvassa 6 kolmas esimerkki ylhäältä oikealta, vaan asennus pitää tehdä saranapuolelle kuvan 8 tapaan.



Kuva 8. Koneen toimintaankytkentälaitteita. Vasemmalla ylhäällä portin avaaminen edellyttää pysähdyksen aiheuttavan pistokkeen avaamista (pistotyyppinen kytkin). Vasemmalla alhaalla kone pysähtyy, kun ohjauskaapista otetaan portin avain (siirtoavaintyyppinen kytkin). Keskellä on ajastimella toimiva portin lukinta ja oikealla ylhäällä moottorin pyörimiseen kytketty portin lukinta. Oikealla on portin saranaan kytketty rajakytkin (SFS-EN 1088).

3.2 Optiset turva-anturit

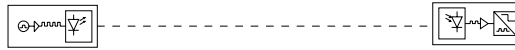
Optisen anturin toiminta perustuu yhden tai useamman valonsäteen tuottamiseen ja havaitsemiseen. Tunnistuksen saa aikaan valonsäteen katkeamisen tai sen intensiteetin heikkenemisen havaitseminen. Monisäteistä tiheää valokennostoa kutsutaan valoverhoksi (havaitsee myös alle 40 mm suuriset kohteet). Valoverho voi olla myös dynaaminen, jolloin valvonta-alueita pyyhkäistään yhden säteen avulla. Dynaamista valoverhoa esittää kuva 9. Monissa valokennoissa ja valoverhoissa valvotaan anturin sisäistä toimintaa ja vian sattuessa estetään koneen vaarallinen toiminta. Tehokkaan itsediagnostiikan ja tarkasti rajattavan havaintoalueen ansiosta monet valokennot ja valoverhot sopivat kohteisiin, joissa vaaditaan korkeaa turvallisuustasoa.



Kuva 9. Dynaaminen valoverho. Säde kulkee lähettimestä puoliläpäisevän peilin kautta pyörivään peiliin. Pyörivä peili aikaansaa pyyhkäisyn, jolla valvotaan koko aluetta. Pyörivästä peilistä säde kulkee peilin kautta prismaan, josta se palaa samaa reittiä takaisin puoliläpäisevän peilin läpi vastaanottimeen.

Optisen anturin lähetinosa sisältää virtalähteen, modulaattorin, valonlähteen(t) ja optiikan. Vastaanottimeen kuuluvat vahvistin, demodulaattori sekä logiikka- ja liitäntäpiirit. Lähetin ja vastaanotin voivat olla erillään, jolloin valonsäde muodostetaan niiden väliin, tai ne voivat olla samassa kotelossa, jolloin valonsäde heijastetaan erillisestä heijastimesta. Markkinoilla on myös kohteesta heijastuvan valonsäteen havaitsemiseen perustuvia antureita. Kohteesta heijastava anturi soveltuu rajoitetusti turvalaitekäyttöön, sillä havaintoetäisyys on usein voimakkaasti kohteen heijastusominaisuuksista riippuva (turvamallejakin on olemassa). Jotkut valmistajat määrittelevät luotettavan ja epäluotettavan havaintoetäisyyden. Kuvassa 10 esitetään optisten antureiden periaatteita.

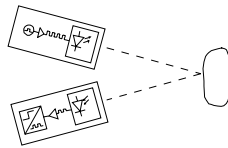
OPTISTEN ANTUREIDEN TOIMINTAPERIAATTEITA



SUORATIEPERIAATE: OPTINEN LÄHETIN JA VASTAANOTIN OVAT VASTAKKAIN



SUORAHEIJASTUSPERIAATE: VALO KULKEE PRISMAPEILIIN JA PALAA SAMAA TIETÄ TAKAISIN, POLARISOITUNUT VALO HEIJASTETAAN PUOLILÄPÄISEVÄLLÄ PEILILLÄ VASTAANOTTIMEEN



V-HEIJASTUSPERIAATE: VALO HEIJASTUU KOHTEESTA JA PALAA VASTAANOTTIMEEN



TUTKAPERIAATE: VALON KULKUAIKAA MITTAAMALLA SAADAAN SELVILLE ETÄISYYS

Kuva 10. Optisten antureiden toimintaperiaatteita.

Nykyään käytetään valonlähteenä diodia, jonka emittoima infrapunasäteily on kapeakaistaista (tavallisesti alueella $0,9...1,0 \mu\text{m}$). Puolijohdediodien nousuaika on hyvin nopea, joten infrapunasäteilyä voidaan moduloida pulssittamalla. Käyttämällä säteilyn aallonpituudelle selektiivistä suodatinta ja vastaanotindiodia (tai transistoria) sekä modulointitaajuudelle viritettyä kaistanpäästösuoatinta vastaanottimessa, saadaan anturi melko tunteettomaksi ulkopuoliselle häiriövalolle. Lähetindiodin lähettämä säteily voidaan koota linsseillä kapeaksi säteeksi, joka suunnataan vastaanottimeen.

Valokennot soveltuvat luontevasti kahden pisteen välisen suoran valvontaan. Esimerkkejä sovelluskohteista ovat mm. sellaiset ovet, portit ja muut kulkuaukot, joiden käyttöä ei ole tarkoituksenmukaista valvoa mekaanisin laittein. Esimerkiksi materiaalin toimitukset aidattuun tilaan sijoitettavalle koneelle yksinkertaistuvat, kun yksi aidan sivu korvataan valokennovalvonnalla. Valokennoilla voidaan valvoa myös rajatun alueen kaikkia sivuja. Valvonta-alue voidaan jakaa valokennoilla osiin, mutta jos alueelle menee yhtäaikaaisesti useita ihmisiä, kaikkien sijaintia ei anturitie-

doista voida päätellä. Kun ihmisen läsnäolosta ei saada jatkuvaa tietoa, kaikki ne alueet, joilla ihminen on käynyt, voidaan vapauttaa vain manuaalisella kuittauksella. Jatkuva läsnäolotieto alueella saadaan esim. käyttämällä dynaamisia valoverhoja vaakasuorassa siten, että niillä peitetään koko valvottava alue.

Valoverhoissa, joissa säteiden väli on vain muutamia senttejä, vain yksi lähetin-vastaanotinpari on kerrallaan aktiivinen keskinäisten häiriövaikutusten välttämiseksi. Aktivointitaajuus voi olla useita kHz:jä, joten menettelystä ei aiheudu merkittävää viivettä valoverhon toimintaan. Erillisistä keskenään synkronoimattomista valokennoista ei voida rakentaa tiheää valoverhoa, koska valokennot häiritsevät toisiaan.

Malleissa, joissa valonsäde kiertää heijastimen kautta vastaanottimeen, on periaatteessa mahdollista, että kohteesta heijastuva säteily aiheuttaa virhetoiminnan. Tämä voidaan välttää asentamalla lähettimen eteen polarisaatio-suodatin. Säteilystä heijastavan prisman (tämä on heijastimissakin käytetyn prismapeilin yleinen ominaisuus) tulee nyt kääntää valon polarisaatiotasoa 90° . Myös vastaanottimeen edessä on suodatin, joka päästää lävitseen ainoastaan heijastinprismassa polarisaatiotasoltaan kääntyneen säteilyn.

Jatkuva-aikaiseen pyyhkäisyyn perustuva valoverho on rakenteeltaan sikäli poikkeuksellinen, että säteen kohdistamisessa heijastimeen käytetään pyörivää peiliä. Optisten antureiden reagointiajat ovat lyhyitä. Tyypillisesti reagointiaika vaihtelee millisekunneista muutamaan kymmeneen millisekuntiin riippuen säteiden lukumäärästä ja anturityypistä. Havaintoetäisyys on yleensä maksimissaan 50 m. Pidemmällä etäisyyksillä on käytettävä hyvällä optiikalla tai laserilla aikaansaataava kapea valonsäde, jotta vastaanottimeen kohdistuva intensiteetti pysyy riittävän suurena.

Valoverhoja käytetään yleisesti turva- ja hallintalaitteina puristimissa ja leikkureissa estämässä käsivahinkoja materiaalin syötön ja poiston yhteydessä. Käsien ollessa vaarakohdassa valoverho on vaikutettuna ja estää koneen toiminnan. Valokennot ja valoverhot on sijoitettava siten, että kukaan ei voi tahattomasti päästä valvontalualueelle sädettä katkaisematta.

Linssien likaantuminen on pölyisessä ympäristössä ongelma. Tosin on olemassa malleja (ei turvamalleja), joiden toimintaan ei pieni likaantuminen vaikuta. Nämä mallit ovat käyttäjän säädettävissä, ja lyhyellä etäisyydellä käden voi laittaa säteen eteen ilman, että saadaan havainto. Likaantuminen ei aiheuta vaarallista virhetoimintaa, mutta se pienentää tuotantojärjestelmän käytettävyyttä aiheuttamalla pysäytyksen.

Valokennoa asennettaessa on katsottava, ettei säteen vieressä ole sileää säteen suuntaista pintaa, josta säteet voisivat heijastua vastaanottimeen. Jos säde pääsee heijastumaan pinnasta, saattaa suojattuun alueeseen jäädä aukko, josta ei saada havaintoa. Valokennojen ja valoverhojen asennuksessa pitää kiinnittää huomiota myös siihen, ettei valokennon ohi pääse tämän havaitsematta.

Koska tunnistimet käyttävät ihmissilmälle näkymätöntä infrapunasäteilyä, voi aiheutua tahattomia pysäytyksiä. Valvonta-alueen rajat tulisikin merkitä selkeillä varoitusmerkinnöillä.

3.3 Muut turva-anturit

Taulukkoon 1 on kerätty yhteenvetona erilaisten turva-antureina käytettyjen kosketuksettomien tunnistimien ominaisuuksia.

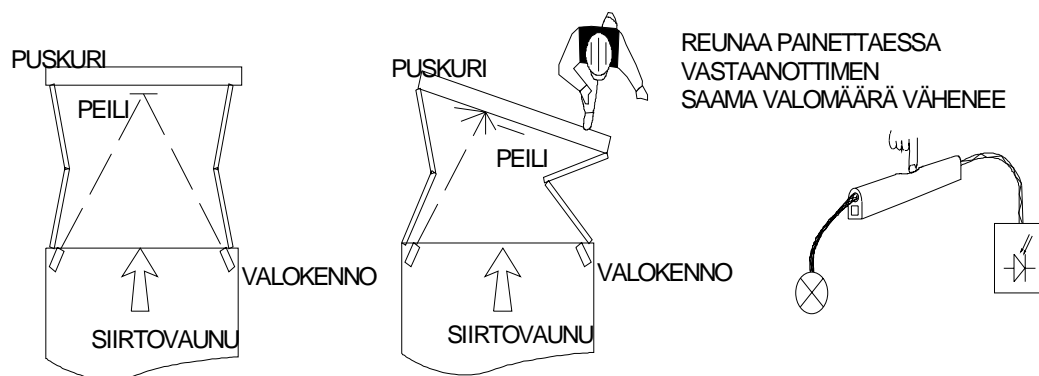
Taulukko 1. Kosketuksettomaan tunnistukseen perustuvia antureita.

Turvalaite tyyppi	Tyypillinen tunnistusalue	Anturin toiminta	Turvalaitteeksi soveltuvuus arvio
Valokenno	1 - 30 m	havaitsee lähettimen ja vastaanottimen välissä olevan esteen (ihmisen)	turvakäyttöön tarkoitetut mallit soveltuvat turvalaitteeksi mm. alueelle pääsyn valvontaan
Valoverho	leveys 1 - 10 m (korkeus 0,2 - 1 m)	havaitsee säteillä valvotulla alueella olevan esteen (käden)	turvakäyttöön tarkoitetut mallit soveltuvat turvalaitteeksi mm. alueelle pääsyn valvontaan ja käden liikkeiden valvontaan
Optinen lähestymiskytkin	0,1 - 2 m	havaitsee valvotulla alueella olevan esteen; havaitsee kohteesta heijastuvan valon	soveltuu mm. lisäturvalaitteeksi
Laser-skanneri	1 - 15 m	havaitsee valvotulla alueella olevan esteen; havaitsee kohteesta heijastuvan valon	turvalaitteeksi tarkoitetut mallit soveltuvat valmistajan osoittamaan käyttöön
Ultraäänianturi	1 - 8 m	havaitsee valvotulla alueella olevan esteen; havaitsee kohteesta heijastuvan äänen	soveltuu mm. lisäturvalaitteeksi
Kapasitiivinen anturi	alle 0,5 m	havaitsee esteen valvotulla alueella	soveltuu mm. lisäturvalaitteeksi
Passiivinen infrapuna-ilmaisin	10 - 100 m ²	havaitsee liikkuvan ihmisen valvotulla alueella; havaitsee ihmisen säteilemän lämpösäteilyn	soveltuu mm. lisäturvalaitteeksi ihmisen havaitsemiseen; ei liikkuviin koneisiin
Mikroaalto-anturi (Doppler)	10 - 100 m ²	havaitsee liikkuvan kohteen valvotulla alueella	soveltuu mm. lisäturvalaitteeksi; ei liikkuviin koneisiin

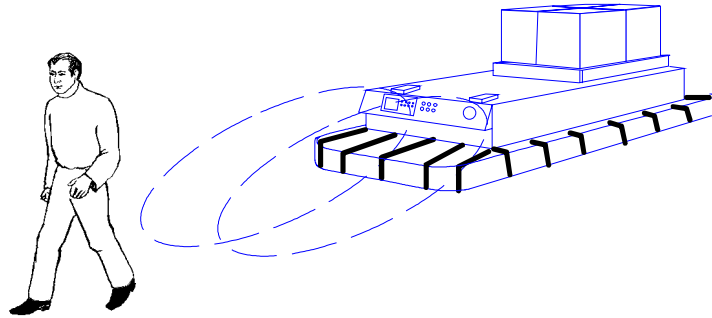
3.3.1 Kosketusanturit

Kosketusanturit ovat toiminnaltaan suhteellisen yksinkertaisia, ja niiden toiminnallisia vaatimuksia on käsitelty useissa standardeissa (SFS-EN 1760-1 ja luonnoksissa prEN 1760-2 ... 3).

Tuntoreunoja ja tuntopuskureita käytetään yleisesti esim. nostopöydissä ja siirto- ja vihivaunuissa. Suojaus on järjestettävä siten, että kone ehtii pysähtyä tuntoreunan joustomatkalla ennen, kuin vaikuttava voima kasvaa vaarallisen suureksi (standardissa esitetty voiman arvo on tilanteesta riippuen 250 N) [prEN 1760-2]. Jos kosketuspinta on kova, on sallittu voiman arvo huomattavasti pienempi. Riittävä pysähtymismatka voidaan toteuttaa käyttämällä riittävän paksua tuntoelintä ja/tai riittävän hitaita nopeuksia puristuskohtissa. Tuntoreunat toimivat yleensä sähköllä tai valolla (nykyään harvoin paineilmalla). Sähkömekaanisissa tuntoreunoissa on kaksi johtavaa pintaa, jotka eivät tavallisesti kosketa toisiaan. Tuntoreunaa painettaessa johtavat pinnat koskettavat toisiaan ja syntyy oikosulku, jonka seurauksena valvova rele päästää. Paineilmalla toimivassa tuntoreunassa ilma pumpataan pienellä ylipaineella painekeytkimen ohi ulos. Reunaa painettaessa painekeytkimen kohdalla paine laskee ja painekeytkin päästää. On olemassa myös turvakäyttöön sopimattomia tuntoreunoja, joiden toiminta perustuu siihen, että reunaa painettaessa ilmatilavuus pienenee ja paine kasvaa. Valoon perustuvissa tuntopuskureissa on yleensä valokuitua sykkyrässä vaahtokumin sisällä. Puskuria painettaessa valokuitu menee jyrkälle mutkalle ja valo pääsee kuidusta pois. Valon väheneminen havaitaan valodiodilla. Myös valon kulkemista letkussa on käytetty (kuva 11). Valokennon ja peilin käyttö siirtovaunussa saattaa olla tarpeen (kuvassa vasemmalla ja keskellä), jos pysähtymismatka on niin pitkä, että kosketusantureita ei voida käyttää. Kuvan esimerkissä puskurin ja vaunun väliin astuminen on estetty.



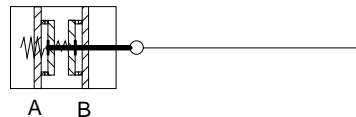
Kuva 11. Vasemmalla vihivaunun puskurissa on käytetty valokennoa ja peiliä. Keskellä esitetään, kuinka puskuriin kosketettaessa säde ei enää osu peiliin tai heijastunut säde ei enää osu vastaanottimeen. Oikealla reunaan painettaessa vastaanotin saa vähemmän valoa.



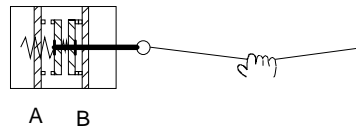
Kuva 12. Vihivaunun turvalaitteina on tuntopuskuri ja optinen lähestymiskytkin.

Köysihätäpysäytin rakentuu teräsköydestä ja erityisestä rajakytkimestä. Rajakytkin vaikuttaa, jos köydestä vedetään tai jos köysi katkeaa. Kuvassa 13 on erään köysihätäpysäyttimen toimintaperiaate. Köysihätäpysäytintä voidaan käyttää myös tuntopysäyttimenä, jos se asennetaan sopivasti ja se on riittävän herkkä. Aiheeseen liittyviä ohjeita on esitetty standardiluonnoksessa prEN 1760-4.

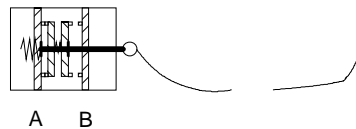
MOLEMMAT KOSKETTIMET
A JA B OVAT KIINNI



KOSKETIN A AUKEAA,
KUN KÖYSI KIRISTYY

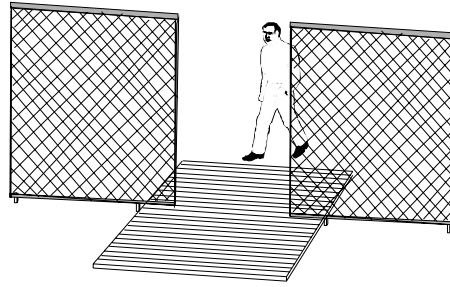


KOSKETIN B AUKEAA,
KUN KÖYSI LÖYSTYY



Kuva 13. Erään köysihätäpysäyttimen toimintaperiaate.

Tuntomatolla havaitaan henkilön saapuminen alueelle. Mattojen toimintaperiaatteet ovat vastaavia kuin tuntopuskurien ja -reunojen. Tuntomatto sijoitetaan yleensä joko vaara-alueelle pääsykohtaan tai valvomaan koko vaara-alueen. Tuntomatto tulee ulottaa riittävän etäälle vaarakohdasta. Turvaetäisyyteen vaikuttavat koneen pysähtymisaika ja ihmisen nopeus (standardiluonnoksen prEN 999 mukaan 1,6 m/s) ja ihmisen ulottuma (standardiluonnoksen mukaan 1,2 m). Kuvassa 14 on tuntomatto sijoitettu aidassa olevaan aukkoon.



Kuva 14. Ihmisen pääsyä koneen toiminta-alueelle valvotaan tuntomatolla.

Kosketusantureiden käyttö on lisääntymässä ja turvalaitteeksi tarkoitettut mallit ovat turvallisuustasonsa puolesta mm. konepajakäyttöön sopivia. Antureiden kytkentä koneen ohjaukseen ja anturielementtien sijoittelu työtilassa voivat kuitenkin vesittää oikein toimivan laitteen merkityksen. Toiminnan varmistukset on muistettava myös näissä yhteyksissä.

Taulukkoon 2 on kerätty yhteenvedona tietoja erilaisista turvalaitteena käytettävistä kosketusentunnistimista.

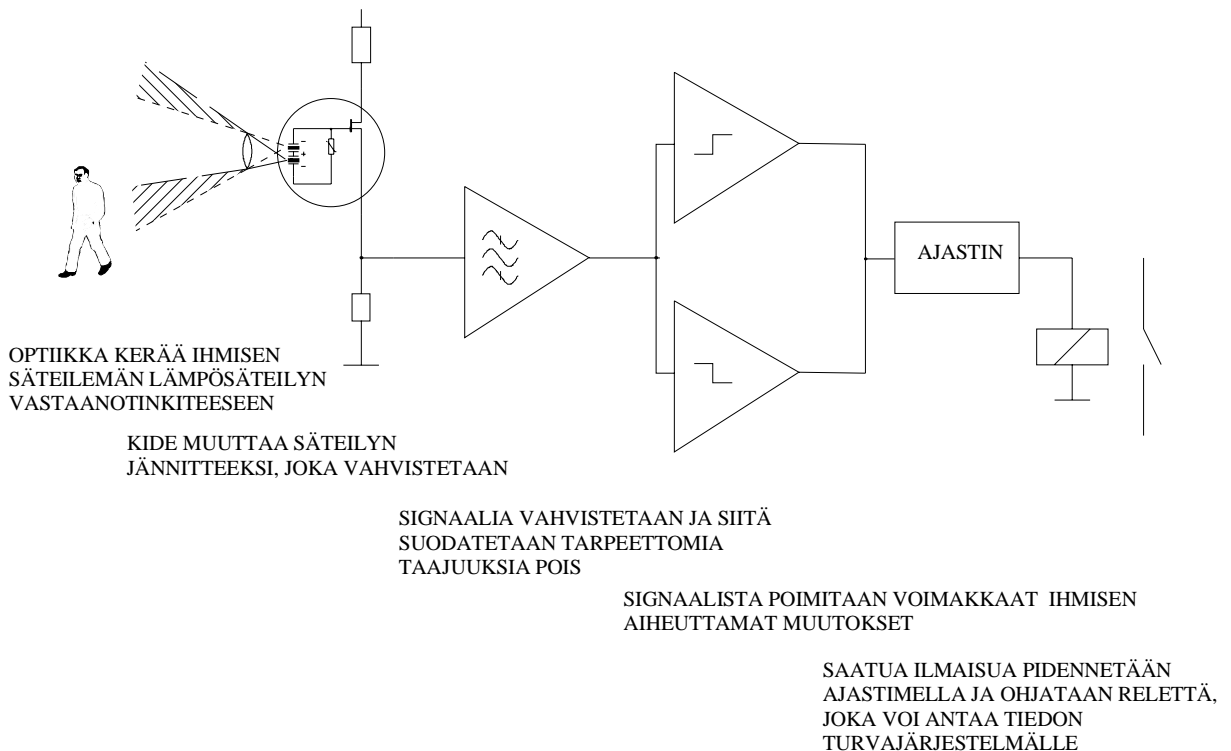
Taulukko 2. Kosketukseen perustuvia tunnistimia.

Turvalaite- tyyppi	Tunnistava osa	Tunnistimen toiminta	Turvalaitteeksi soveltuvuus, arvio
Hätä- pysäytin	painike tai köysi	toimii painiketta painettaessa, köyttä vedettäessä tai köyden katketessa	soveltuu lisäturvalaitteeksi
Ohjauksen sallintalaite	kuljetettava painike	painikkeen vapauttaminen pysäyttää automaatti- koneen	soveltuu lisäturvalaitteeksi työtehtävien ollessa vaara- alueella
Pakkokäyt- töinen hallintaelin	painike, poljin tai vipu	laite pitää koneen käynnissä vain silloin, kun hallintaelimeen vaikutetaan	soveltuu lisäturvalaitteeksi estämään käynnissä olevan koneen lähelle menemistä
Kaksin- käsin- hallintalaite	kaksi painiketta tai vipua	laite käynnistää koneen, kun molempiin painik- keisiin vaikutetaan yhtä- aikaa	turvalaitekäyttöön tarkoitettu malli soveltuu turvalaitteeksi estämään käyttäjän käsivahinkoja
Koneen toimintaan kytketty suojaus	esim. portti tai liukuovi (ohjaa esim. raja- kytkintä)	toimii porttia tai luukkua avattaessa	rajakytkimiin perustuva järjestelmä soveltuu turvalaitteeksi valvomaan tai käytettäessä lukkoa myös estämään vaara-alueelle pääsyä
Tuntoreuna	kumi- tai muu profiili	toimii reunaa painettaessa	turvalaitekäyttöön tarkoitettu malli soveltuu turvalaitteeksi vähentämään puristumis- tai iskuvaaraa
Tuntomatto	kumi- tai massamatto	toimii ihmisen (esineen) ollessa matolla	turvalaitekäyttöön tarkoitettu malli soveltuu turvalaitteeksi aluevalvontaan tai vaara- alueelle pääsyn valvontaan.

3.3.2 Passiiviset infrapunailmaisimet

Passiivisilla infrapunailmaisimilla voidaan havainnoida lämpötilan muutoksia optiikan määräämällä valvonta-alueella. Infrapunailmaisimen toiminta perustuu valvonta-alueelle saapuvan ihmisen säteilemän lämpö- eli infrapunasäteilyn havaitsemiseen.

Ilmaisinelementtinä käytetään pyrosähköistä kideettä. Infrapunasäteily absorboituu kiteeseen muuttaen sen lämpötilaa. Lämpötilan muutoksen vaikutuksesta kiteen polarisaatio muuttuu ja kidelevyn yli muodostuu sähkövaraus, jonka aiheuttama virta voidaan mitata. Jotta hitaat taustalämpötilan muutokset tai staattiset lämmönlähteet eivät aiheuttaisi hälytyksiä, käytetään ilmaisimessa usein kahta vastakkain polarisoi- tuta kideettä. Jos taustalämpötila muuttuu, ensimmäinen kide tuottaa positiivisen signaalin ja toinen kide negatiivisen. Signaalit kumoavat toisensa ja ulostulo on nolla. Tilanne muuttuu, kun alueella on liikkuva kohde. Anturin optiikka on suunniteltu si- ten, että erimerkkiset ilmaisinelementit eivät saa yhtäaikaista signaalia kohteesta. Tämä aiheuttaa signaalien epätasapainon ja siten hälytysviestin muodostumisen. Ku- vassa 15 on esitetty passiivisen infrapunailmaisimen rakenteen periaatekuva.



Kuva 15. Passiivisen infrapunailmaisimen toimintaperiaate.

Kaikki kappaleet lähettävät lämpösäteilyä. Ihmisen säteilyn tehotehoisuus on suurim- millaan aallonpituudella 10 μm . Passiivisissa infrapunailmaisimissa on yleensä suodatin, joka päästää läpi säteilyn vain tällä taajuudella. Kappaleen kyky emittoida

säteilyä riippuu kappaleen kemiallisesta rakenteesta, pinnan laadusta ja säteilyn aallonpituudesta. Hyvät säteilijät ovat huonoja heijastajia ja päinvastoin. Aallonpituudella 10 μm metallien emissiokerroin on pienempi kuin 0,1 ja ihmisen ihon ja vaatetuksen suurempi kuin 0,4. Tämän seurauksena tulee ihmisen kanssa samanlämpöisten metallisten koneenosien olla huomattavasti ihmistä suurempia, jotta ne aiheuttaisivat hälytyksen.

Tavallinen linssi-optiikka vaimentaa infrapunäsäteilyä huomattavasti. Tämän vuoksi passiivisissa infrapunailmaisimissa käytetään yleensä peilioptiikkaa tai Fresnel-linssiä, joka valmistetaan ohuesta polyetyleenikalvosta. Kaupallisissa antureissa parabolinen peili (tai Fresnel-linssi) on jaettu sektoreihin. Tällä järjestelyllä saadaan valvonta-alueelle useita kapeita havaintokeiloja. Koska infrapuna-anturi antaa hälytysviestin aina kohteen ylittäessä keilan rajan, saadaan useita hälytysviestejä kohteen liikkua valvonta-alueen poikki. Myös muut valvonta-alueen muodot ovat mahdollisia. Optiikan tietyille alueelle tulevia kuumia koneenosia voidaan rajata pois peittämällä anturin optiikkaa.

Passiiviset infrapunailmaisimet ovat yleistyneet varashälyttimissä ja ovenavaajissa, mutta koneturvalaitteina niiden käyttö on harvinaista. Turvakäyttöön tarkoitettujen passiivisten infrapunailmaisimien testausta käsittelevässä standardiluonnoksessa edellytetään jonkun verran itsediagnostiikkaa, ja valmistajan on määriteltävä luotettavan ja epävarman havaintoalueen rajat. Ennen passiivisen infrapunailmaisimen käyttöä on arvioitava riittääkö ilmaisimen luotettavuus sovelluskohteeseen, sillä ne saattavat antaa vääriä hälytyksiä.

3.3.3 Ultraäänianturit

Ultraäänianturin toiminta perustuu ultraäänien tuottamiseen ja kohteesta heijastuneen äänen viiveen mittaamiseen. Ultraääntä ovat korkeat yli 20 Khz:n taajuiset ääniaallot. Kuvassa 16 on esitetty ultraäänianturin toimintaperiaate.



Kuva 16. Ultraäänianturin toiminta.

Kohteen etäisyys anturista on suoraan verrannollinen äänen palautumisaikaan vakioäänennopeudella väliaineessa. Anturin elektroniikka laskee lähetetyn ääni-impulssin palautumiseen kuluvaan aikaan. Siten anturi toimii tietyllä mittaustaajuudella, joka on yleensä 1 - 50 Hz. Ilmassa etenevän äänen heijastukseen perustuvia ultraääniantureita käytetään etäisyysmittareina kameroissa, tilan valvonnassa sekä teollisuudessa kohdistus- ja mittaustantureina.

Äänen tuottaminen ultraääniantureissa toteutetaan tavallisesti joko sähköstaattisesti tai pietsosähköisesti. Sähköstaattisessa järjestelmässä korkea värähtelytaajuus on saatu aikaan värähtelypiirillä, jossa on esimerkiksi 300 V jännite. Pietsosähköisessä järjestelmässä kide saadaan värähtelemään vaihtojännitteellä, joka on alempi kuin sähköstaattisessa järjestelmässä. Antureiden ultraäänitaajuus on 40 - 200 kHz. Korkeat taajuudet vaimenevat ilmassa matalia taajuuksia nopeammin. Toisaalta korkeilla taajuuksilla on häiriöääniä vähemmän kuin matalilla taajuuksilla. Yli 40 kHz taajuuksilla häiriöt ovat harvinaisia. Korkeilla taajuuksilla mittausalue (kytkentäetäisyys) on muutama metri. Matalammalla taajuudella voidaan tuntoaluetta suurentaa noin 10 metriin. Useilla antureilla on mahdollista valita tunnistusalue maksimikykentäetäisyyden ja minimikykentäetäisyyden väliltä. Antureiden minimikykentäetäisyys on noin 0,2 - 0,3 m.

Ultraäänianturin etuina ovat tunnistusalueen valintamahdollisuus ja helppo asennettavuus sekä läpinäkyvien materiaalien tunnistaminen. Ultraääniantureiden käytössä on useita ongelmakohtia. Mittaustaajuuden pienuudesta johtuva informaatiovaje (kohteen liikkeistä ei saada jatkuvaa tietoa) vaikeuttaa nopeiden ilmiöiden tunnistamista. Tunnistuskkyky on huono pehmeisiin, huokoisiin, tasaisiin ja kuumiin (vaikutus vähäinen) kappaleisiin. Tunnistusalue on kapea, ultraäänikeilan avautumiskulma on tyypillisesti n. 5 - 15 astetta. Ultraäänianturi on häiriöaltis muiden ultraäänilähteiden äänille (yli 50 kHz taajuiset häiriöäänät ovat harvinaisia). Näitä ovat muut ultraäänianturit sekä mm. hitsauksessa, metallien leikkauksessa ja hionnassa syntyvät äänet.

Ultraäänianturien haittapuolia voidaan vähentää joillakin teknisillä keinoilla. Mittaustaajuutta voidaan nostaa käyttämällä erillistä lähetintä ja vastaanotinta. Tunnistusaluetta voidaan leventää käyttämällä äänilähteen edessä ääntä hajottavia torvia tai säleikköjä. Tämä tosin pienentää mittauspinnalle osuvan äänen intensiteettiä ellei lähetystehoja nosteta. Häiriökaikujen vaikutusta voidaan pienentää käyttämällä eri taajuusalueilla toimivia antureita. Ultraääntä absorboivia aineita, kuten huopaa, huokoista puuvillaa, kudottuja vaatteita tai vaahtomuovia, ultraäänianturi tunnistaa vain lyhyeltä etäisyydeltä. Näillä aineilla päällystetyn kohteen havaitseminen tulisi järjestää muilla antureilla. Puuvillasekoitteinen työpuku on kuitenkin ultraäänianturilla tunnistettavissa.

3.3.4 Mikroaaltoanturit

Mikroaaltoantureissa käytetään vakiotaajuista sähkömagneettista säteilyä, jonka taajuus on GHz alueella. Markkinoilla on tällä hetkellä kahdentyyppisiä mikroaaltoantureita: läsnäolon tunnistavia sekä liikkeen tunnistavia. Näiden lisäksi on olemassa mikroaaltoalueella toimivia saattomuistin tunnistavia laitteita. Nämä siis tunnistavat ainoastaan n. luottokortin kokoisen laitteen ("tag"), mutta koska niillä ei havaita varsinaisesti ihmistä, niiden toiminnasta ei tässä luvussa kerrota enempää.

Ensin mainitussa anturissa lähetinyksikkö lähettää amplitudi- tai pulssimoduloidun signaalin vastaanottimeen, joka tarkkailee vastaanotetun signaalin energiaa. Mikäli lähettimen ja vastaanottimen välissä on este, vastaanotettu energia vähenee. Asetetun kynnsarvon alitus aiheuttaa hälytyksen.

Läsnäolon tunnistavia mikroaaltoantureita voidaan käyttää samantyyppisissä sovelluksissa kuin valokennoja (ei kuitenkaan silloin, kun tarvitaan korkea turvallisuustasoa), etenkin silloin, kun ympäristöolosuhteet estävät valokennojen luotettavan toiminnan.

Liikkeen tunnistavat mikroaltoaanturit perustuvat doppler-ilmion hyväksikäyttöön. Tässä anturityypissä lähetin ja vastaanotin ovat samassa yksikössä. Valvottavalle alueelle lähetetään vakiotaajuista mikroaltoa säteilyä.

Heijastuneen signaalin teho on suoraan verrannollinen heijastavan kohteen pintaan. Mikäli kohteen koko ja taajuussiirtymä ylittävät ennalta asetetut kynnyksarvot, annetaan hälytys.

Doppler-antureita ei vielä ole käytetty henkilöturvallitteina, mutta sen sijaan niitä käytetään paljon murtohälyttiminä. Doppler-ilmaisoin havaitsee siis vain liikkuvan kohteen. On varmistuttava siitä, että ihminen poistuu valvottavan koneen vaara-alueelta ennen kuin kone käynnistetään uudelleen, sillä anturi ei havaitse havaintokentässä paikallaan seisovaa ihmistä. Doppler-periaatteesta johtuen ilmaisoin on herkempi anturia kohti tai siitä poispäin suuntautuvalla liikkeellä kuin anturin havaintokeilaa nähden poikittaisella liikkeellä. Tämä ongelma voidaan ratkaista asentamalla kaksi anturia kohtisuoraan toisiinsa nähden. Muutenkin doppler-anturit on suunnattava siten, että valvottavan koneen liikkeet eivät häiritse anturin toimintaa. Valvottavan alueen rajaaminen on kuitenkin vaikeaa.

Läsnäolon tunnistavilla mikroaltoaantureilla voidaan saavuttaa hyvin pitkiä havaintoetäisyyksiä, jopa satoja metrejä (huom. tutkat toimivat mikroaltoailla). Kaupallisten doppler-antureiden maksimihavaintoetäisyys on yleensä 8 - 30 m. Torvimaisesti avautuvalla antennilla saadaan ellipsinmuotoinen, pyörähdysymmetrinen havaintokenttä. Havaintokentän muotoon vaikuttaa antennin muoto. Mikroaltoa tunkeutuvat esim. ohuiden seinien, lasin ja muovin läpi. Myös heijastumat metallisista ja koneenosista laajentavat usein tarkoituksettomasti havaintoaluetta ja saattavat aiheuttaa vikahälytyksiä. Mikroaltoaanturin asennusalustan värähtely sekä värähtelevät kohteet havaintokentässä aiheuttavat ongelmia. Anturia ei saa myöskään suunnata kohti loisteputkia. Mikäli käytetään useaa mikroaltoaanturia samassa tilassa ja havaintokentät leikkaavat toisiaan, lähettimissä on käytettävä eri taajuusalueita keskinäisten häiriöiden välttämiseksi.

Turvallitekäyttöön mikroaltoaantureilla on vielä liikaa häiriöitä ja toisaalta havaintoa ei välttämättä saada luotettavasti.

3.3.5 Kamerajärjestelmät

Kamerajärjestelmän käyttö turvallitteena perustuu kuvassa tapahtuvien muutosten analysointiin ihmisen saapuessa vaara-alueelle. Kamerajärjestelmä koostuu

kamerasta, sovitussyksiköstä sekä tietokoneesta. Sovitusyksikkö muokkaa kamerasuodattaman kuvan tietokoneelle, jolla kuva analysoidaan. Ominaisuuksia jotka vaihtelevat eri järjestelmissä, ovat mm. tarkkuus (resoluutio), ilmaisinerakenne (esim. CCD), ilmaisintyyppi (musta/valko, harmaan sävyt tunnistava tai väri), käsittelynopeus ja laskenta-algoritmit.

Kamerajärjestelmiä on tähän mennessä käytetty mm. laadun valvontaan, tarkastamiseen, mittaamiseen ja tunnistamiseen. Kamerajärjestelmien käyttö turvalaitesovelluksissa on vielä vähäistä. Syinä tähän ovat mm. järjestelmän kalleus, ohjelmoinnin kalleus ja riittävän turvallisuustason vaikea saavutettavuus ja osoitettavuus.

Käytettäessä kamerajärjestelmää turvalaitteena tarkkaillaan kuvassa tapahtuvia muutoksia. Hälytyskriteerinä voi olla esim. muutokohdan pinta-ala tai rajapintojen solmukohdat. Tällöin voidaan jättää huomioimatta kaikki ne alueet, joilla liikkuva koneenosa voi olla. Myös muut seikat, kuten valaistus sekä kohteen ja taustan kontrasti, vaikuttavat kuvan muodostamiseen. Tausta kannattaakin yleensä järjestää tunnistuksen kannalta helpoksi (esim. shakkiruudukko).

Kohteen luotettava tunnistus kamerajärjestelmällä mallin perusteella on vielä liian vaikeaa. Ihmisestä saatava kuva vaihtelee jatkuvasti ihmisen asennon ja etäisyyden mukaan. Lisäksi ihmiset ovat erilaisia, joten täsmällistä mallia ei voida muodostaa tietokoneen muistiin.

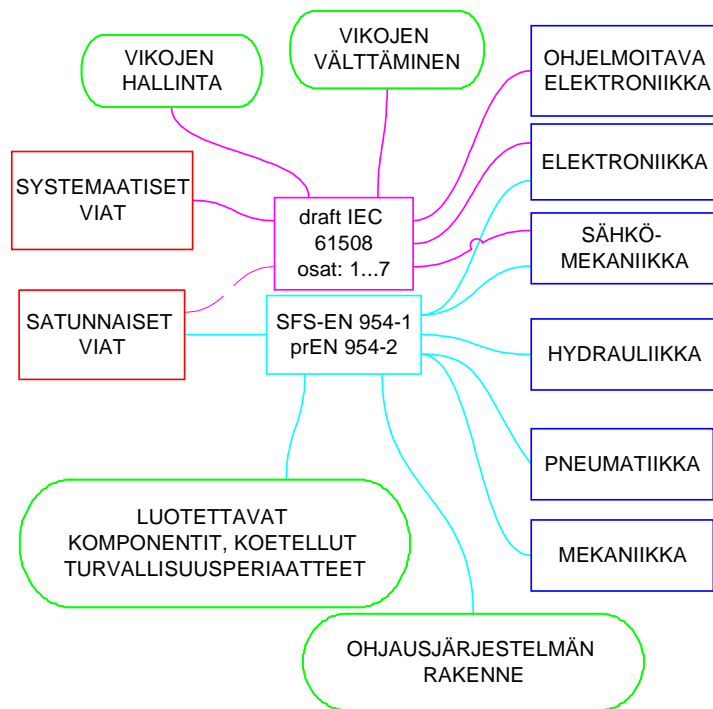
Viivakameroilla on mahdollista päästä suurempiin nopeuksiin kuin tavallisilla kameroilla, mutta niillä saatava informaatio on vähäisempää. Viivakamera muistuttaa tavallista CCD-kameraa, mutta siinä käytetään valoherkän CCD-matriisin sijaan rivissä olevia CCD-kennoja. Viivakameroita käytettäessä valaistaan esim. lattialle jana. Viivakamera mittaa janan pisteiden valoisuutta. Jos osa janan pisteistä on tummia, voidaan olettaa kohteen olevan janalla tai janan lähellä. Myös viivakameran kuvan analysointiin tarvitaan tietokone, mutta analysointi on yksinkertaisempaa kuin kaksiulotteisen kuvan.

Kamerajärjestelmien kaltaisia antureita ovat laser hahmottimet ja ultraäänellä toimivat hahmottimet. Nämä muodostavat kolmiulotteisen värittömän kuvan kohteesta. Hahmottimien maksimitunnistusetäisyydet ovat tavallisesti 1 - 10 m.

Koska kamerajärjestelmä on vielä kallis ratkaisu pelkkään turvallisuusvalvontaan, olisi hyödyllistä kehittää kokonaisjärjestelmä, jossa kamerajärjestelmän ominaisuuksia käytetään hyväksi myös esim. laadunvalvonnassa.

4. OHJAUSJÄRJESTELMÄT

Ohjausjärjestelmän luotettavuudesta ja sen vaikutuksesta turvallisuuteen on monilla aloilla käyty tiivistä keskustelua. Tuloksena on syntynyt kaksi erilaista standardiperhettä (EN 954 -sarja ja IEC 61508 -sarja). Molemmissa standardeissa lähtökohtana on riskin arviointi ja siinä määritetty ohjausjärjestelmään kohdistuva luotettavuusvaatimus. Standardien hierarkiassa SFS-EN 954-1 on Euroopassa vahva, sillä se on jo harmonisoitu standardi konedirektiivin määrittämiin koneisiin. IEC 61508 -sarjassa on vasta luonnoksia, mutta tulevaisuudessa siitä on tulossa kattostandardi, jota sovelletaan kaikenlaisiin turvallisuuskriittisiin ohjausjärjestelmiin. Kuvassa 17 esitetään, kuinka standardit käsittelevät eri ohjausjärjestelmiä.



Kuva 17. Ohjausjärjestelmästandardien SFS-EN 954 ja IEC 61508 suhde erilaisiin ohjausjärjestelmiin.

EN 954:ssä tarkastellaan vikoja ja vikojen seurauksia. Eri ohjausjärjestelmätasoja kutsutaan EN 954:ssä (vikakäyttäytymis-) luokiksi (B, 1, 2, 3 ja 4). EN 954:ssä riskiä pyritään vähentämään käyttämällä luotettavia komponentteja ja periaatteita tai vaihtoehtoisesti käyttämällä sellaisia ohjausjärjestelmän rakenteita, joissa viat eivät vaikuta turvatoimintoihin. EN 954 koskee kaikenlaisia ohjausjärjestelmiä, mutta se ei anna riittävästi menetelmiä ohjelmoitavien järjestelmien käsittelyyn. Taulukossa 3 on esitetään standardissa määritetyt luokat.

Taulukko 3. Yhteenveto standardin SFS-EN 954-1 luokista.

	Yhteenveto vaatimuksista	Järjestelmän käyttäytyminen
B	Turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmät tulee suunnitella ja asentaa ja niihin tulee valita komponentit asiaankuuluvien standardien mukaisesti siten, että laite kestää odotettavissa olevan käsittelyn ja ympäristön.	Vian esiintyminen voi johtaa turvatoiminnon menettämiseen.
1	Sovelletaan kohdan B vaatimuksia ja lisäksi tulee käyttää hyväksi koettuja komponentteja ja turvallisuusperiaatteita.	Vian esiintyminen voi johtaa turvatoiminnon menettämiseen, mutta vian esiintymisen todennäköisyys on pienempi kuin luokassa B.
2	Sovelletaan kohdan B vaatimuksia, hyvin koeteltuja turvallisuusperiaatteita ja lisäksi ohjausjärjestelmän tulee tarkistaa turvatoiminnot sopivin aikavälein.	Vian esiintyminen voi johtaa turvatoiminnon menettämiseen tarkistuksien välillä. Turvatoiminnon menettäminen havaitaan tarkistuksessa.
3	Sovelletaan kohdan B vaatimuksia, hyvin koeteltuja turvallisuusperiaatteita ja ohjausjärjestelmä tulee suunnitella siten, että - mikään yksittäinen vika ei johda turvatoimintojen menettämiseen - mahdollisuuksien mukaan yksittäiset viat havaitaan.	Turvatoiminto suoritetaan yksittäisestä viasta huolimatta. Eräät, mutta eivät kaikki viat havaitaan. Havaitsematta jäävien vikojen kerääntyminen voi johtaa turvatoiminnon menettämiseen.
4	Sovelletaan kohdan B vaatimuksia, hyvin koeteltuja turvallisuusperiaatteita ja ohjausjärjestelmä tulee suunnitella siten, että - mikään yksittäinen vika missä osassa tahansa ei johda turvatoiminnon (toimintojen) menettämiseen ja - yksittäinen vika havaitaan, kun turvatoimintoa tarvitaan seuraavan kerran tai ennen sitä. Jos tämä ei ole mahdollista, vikojen kerääntyminen ei saa johtaa turvatoiminnon menettämiseen.	Turvatoiminto suoritetaan viasta huolimatta. Viat havaitaan ajoissa turvatoimintojen menettämisen estämiseksi.

IEC 61508:ssa tavoitteena on laskea vian todennäköisyys ja tarvittava todennäköisyyden pienentäminen. IEC 61508:ssa kutsutaan ohjausjärjestelmätasojen turvallisuuden eheystasoksi (1, 2, 3 ja 4). IEC 61508:ssa pyritään välttämään vikoja ja toisaalta myös hallitsemaan niitä esittämällä vaatimuksia

ohjausjärjestelmän koko elinkaaren aikana käytettävään tekniikkaan, projektin hallintaan ja henkilöstön taitoihin. IEC 61508 käsittelee elektronisia, sähköisiä ja ohjelmoitavia ohjausjärjestelmiä

4.1 Pysäytysalueiden hallinta

Laajoissa automaatiojärjestelmissä on useita eri koneita yhdistetty toteuttamaan samaa päämäärää. Koska erillisiä koneita on paljon, on usein joku kone huollossa ja toisaalta usein jollain koneella häiriö. Tämän vuoksi ei ole tarkoituksenmukaista pysäyttää kaikkia koneita kerralla, vaan eristetään ainoastaan ne koneet, mitkä on tarpeen turvallisen toiminnan takaamiseksi. Jotta koneen erottaminen muista koneista onnistuu, tarvitaan turvalaitteita, suojuksia ja ohjausjärjestelmään mahdollisuuksia pysäyttää ja eristää tietyn osan toiminnat luotettavasti.

Tuotannon sujuvuuden kannalta on siis kannattavaa jakaa automaatiojärjestelmä moniin osiin. Toisaalta järjestelmän jakaminen osiin maksaa, ja siksi pitää optimoida järjestelmän turva-alueiden määrä. Optimointiin vaikuttaa mm.

- tuotannon pysäytysten kalleus
- turvajärjestelmän hinta
- alueiden luoksepäästävyys
- koneiden lukumäärä
- luontevien rajojen sijoittuminen (seinät, kuljettimet, koneiden suojuukset).

Turva-alueiden ja hätäpysäytysalueiden määrä voi lisäksi olla erilainen, koska hätäpysäytystä tarvitaan harvoin ja muusta syystä johtuvia yksittäisen koneen pysäytyksiä voi olla usein.

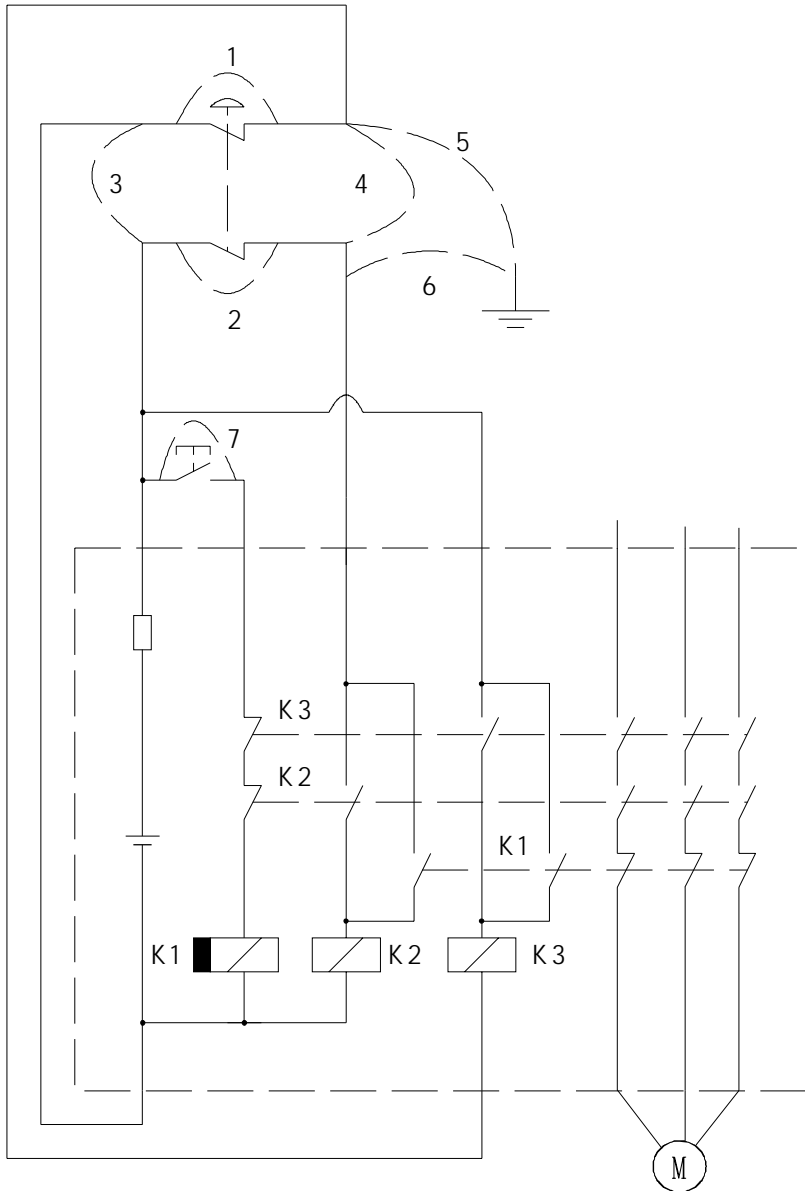
4.2 Pysäytyksen toteuttaminen erilaisilla ohjausjärjestelmillä

Turvapiirit, kuten hätäpysäytyspiirit, on jo pitkään toteutettu pakkotoimisilla releillä. Pakkotoimisissa releissä kosketinsillat on keskenään sidottu luotettavasti yhteen siten, että ne pysyvät aina toisiinsa nähden samassa asennossa. Jos esim. yksi kosketin hitsautuisi kiinni, eivät mitkään koskettimet enää pääsisi vaihtamaan asentoa. Tätä ominaisuutta käytetään piirirakenteissa, joissa yhtä kosketinta käytetään varsinaiseen ohjaukseen ja muita koskettimia valvontaan. 1980-luvun puolessa välissä tulivat markkinoille ensimmäiset turvareleet, jotka koostuvat esim. kolmesta pakkotoimisesta releestä, jotka on asennettu samaan koteloon, ja tyypillinen turvapiirin kytkentä on toteutettu valmiiksi kotelon sisällä. Nykyään

turvareleet ovat tavallisia ohjausjärjestelmien hätäpysäytyspiireissä, sillä niitä käyttämällä on helpointa osoittaa hätäpysäytyspiirin perusrakenteen luotettavuus.

Kuvassa 18 on erään turvareleen sisäinen kytkentä ja kotelon ulkopuolelle toteutettu hätäpysäyttimen ja kuittauspainikkeen kytkentä. Kuvan yläreunassa esitetään, kuinka piiri reagoi tavallisimpiin kotelon ulkopuolisiin vikoihin.

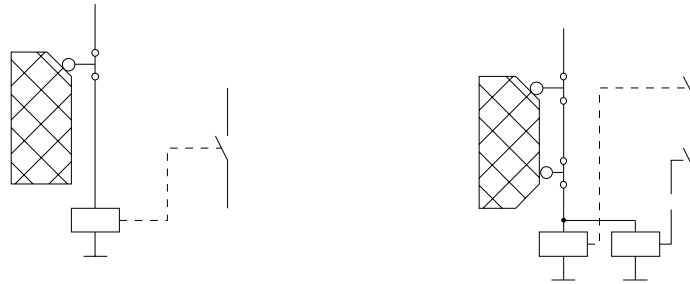
- 1 ja 2 Oikosulku kytkimen yli (häätäpysäytyspiiri ei aktivoidu uudelleen)
- 3 ja 4 Oikosulku häätäpysäytyspiirin välillä (releet päästävät)
- 5 ja 6 Maasulku (- napaan), jossa tilanteesta riippuen sulake palaa (releet päästävät) tai ei ole vaikutusta
- 7 Oikosulku kuittauspainikkeen yli (pysäytystilanteen jälkeen automaattikuittaus)
- 1 ja 2 K atkos aiheuttaa releen päästämisen
- 7 K atkoksen jälkeen moottoria ei voi käynnistää



Kuva 18. Erään turvareleen kytkentä ja ulkopuolisen kytkennän suppea vikojen tarkastelu. Kun kytkennässä käytetään pakkotoimisia releitä, oikealla kytkennällä voidaan saavuttaa SFS-EN 954-1 -standardin luokka 4.

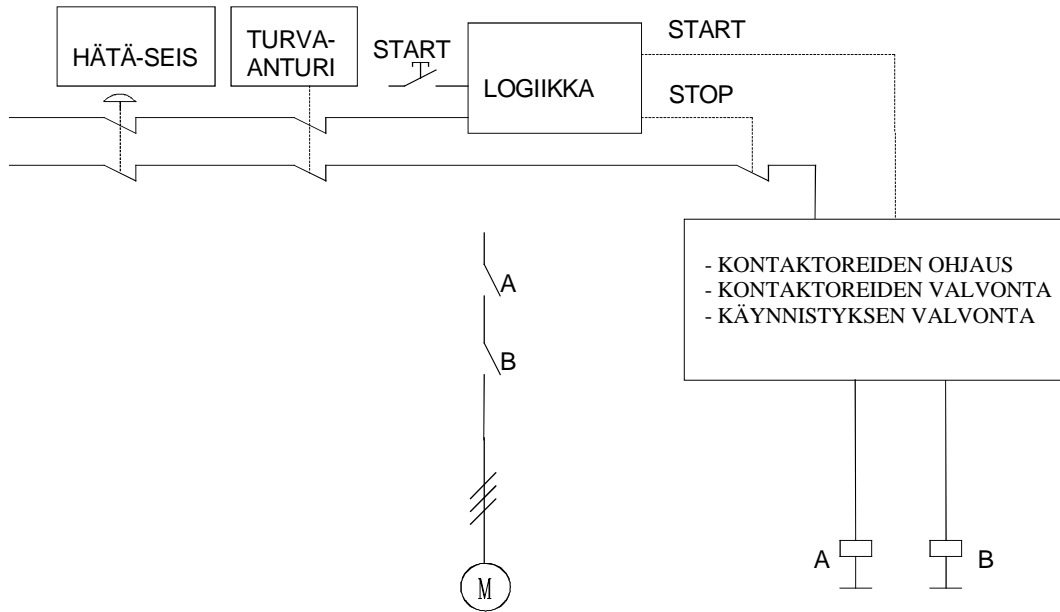
Kuvassa 19 on esimerkit standardin SFS-EN 954-1 luokista B, 1 ja 3. Luokkaan 1 päästään, kun vasemmanpuoleisessa kuvassa valitaan hyväksi koettu pakkotoiminen rajakytkin. Luokkaan 3 päästään, kun oikeanpuoleisessa kuvassa rajakytkimet ovat pakkotoimisia ja releet ovat luotettavia. Esimerkki on vain

niukasti luokkaa 3, sillä vaikka yksittäisen komponentin vikaantuminen ei aiheuta vaaraa, mitään toimintoja ei valvota.



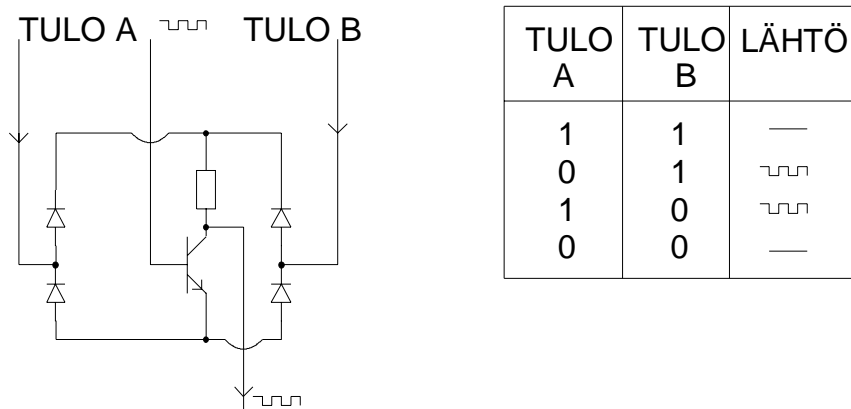
Kuva 19. Kuvissa on portti, jonka aukioloa valvotaan rajakytkimellä. Vasemmalla oleva ratkaisu on SFS-EN 954-1 -standardin mukaan luokkaa B tai 1 riippuen komponenttivalinnoista. Oikealla puolella oleva esimerkki on luokkaa B, 1 tai 3 komponenttivalinnoista riippuen.

Kuvassa 20 esitetään hätäpysäytyspiiriin kytketty ohjelmoitava logiikka ja turvalaitteita. Hätäpysäytyskäsky ei saa yksistään mennä ohjelmoitavaan logiikkaan, ja siksi turvapiirin ohjaus vieään sekä ohjelmoitavaan logiikkaan että pakkotoimisille releille. Käynnistyspiirille ei tavallisesti ole vastaavaa vaatimusta, joten logiikka voi käynnistää koneen, jos se muutoin on sallittua. Sen sijaan hätäpysäyttimen palauttaminen toimintavalmiiksi ei vaarallisilla koneilla saa käynnistyspainikkeen jumiuduttuakaan aiheuttaa käynnistymistä. Kuvan kytkennässä valvotaan käynnistyspainiketta releillä. Valvonta toimii siten, että painikkeen jumiutuessa pohjaan uudelleenkäynnistys ei ole mahdollista. Vastaava valvonta on mahdollista toteuttaa myös ohjelmoitavassa logiikassa.



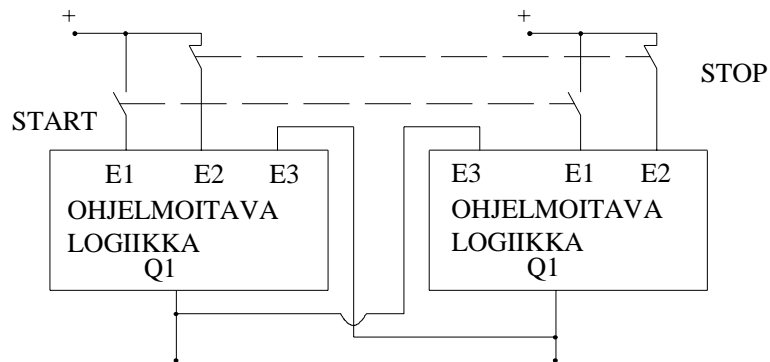
Kuva 20. Ohjelmoitavan logiikan kytkentä hätäpysäytyspiiriin. Piirin releet ovat pakkotoimisia.

Aiemmin koneautomaatiossa käytettiin siis pakkotoimisia releitä turvapiireissä, mutta kaikkiin sovelluksiin ne eivät olleet sopivia. Elektroniikka on tarpeen, kun tarvitaan pientä kokoa, nopeita kytkentöjä, kytkentöjä tapahtuu tiheästi ja piirit ovat monimutkaisia. Elektronisia piirejä valvotaan tyypillisesti dynaamisilla signaaleilla tai ajoittaisilla testipulsseilla. Jos esim. transistori vikaantuu (esim. oikosulku tai katkos), niin signaalin amplitudi pienenee. Kuvassa 21 on esimerkki transistorin valvonnasta piirissä, jossa pulssitus pääsee läpi vain, kun tulosignaalit ovat vastakkaisia ja komponentit ovat ehjiä. Pulssitettu signaali voidaan edelleen viedä releelle muuntajan ja tasasuuntauksen kautta. Kun muuntajan kelat ovat selvästi erilliset, on muuntajankin vioissa seurauksena vaimentunut pulssitus.



Kuva 21. Erivaiheisten tulojen valvonta pulssituksella. Kun toinen tulo on ylhäällä, toinen alhaalla ja komponentit ovat ehjiä, pulssitus pääsee lähtöön.

Monimutkaisissa turvapiireissä on ohjelmitavuuskin tarpeen ja joitain turvatoimintoja voidaan toteuttaa luotettavammin ohjelmitavilla logiikoilla kuin turvareleillä. Tosin nykyisten standardien (mm. SFS-EN 60204-1) mukaan hätäpysäytysviesti ei saa kulkea yksikanavaisen ohjelmitavan elektronikan kautta. Turvalogiikat ovat sisäisesti vähintään kaksikanavaisia, mutta silti niiden käyttöä on hyvä perustella. Kuvassa 22 on esimerkki ratkaisusta, jossa käyttämällä kahta ohjelmitavaa logiikkaa saadaan järjestelmän turvallisuutta parannettua.

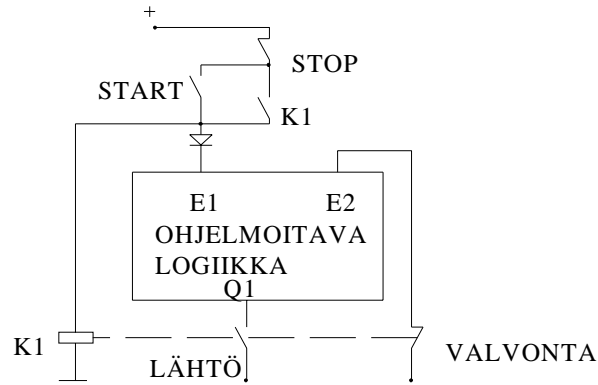


E = tulo, Q = lähtö

- L E1 käynnistys, kun tulo E1 on ylös
- A NE3 tulo alhaalla eli toisen logiikan lähtö alhaalla
- L Q1 itsepito, kun molempien logiikkojen
- A E3 lähdöt ovat ylhäällä.
- O
- A E2 pysäytys, kun tulo E2 on alas
- = Q3 lähtö

Kuva 22. Esimerkissä logiikat valvovat toinen toisiaan. Menetelmällä on mahdollista saavuttaa standardin SFS-EN 954 luokan 3 taso [Kleinbreuer 1997].

Perinteistä reletekniikkaa ja ohjelmitavia logiikkoja on mahdollista myös yhdistää. Kuvassa 23 on esimerkki releen ja logiikan yhdistelmästä.

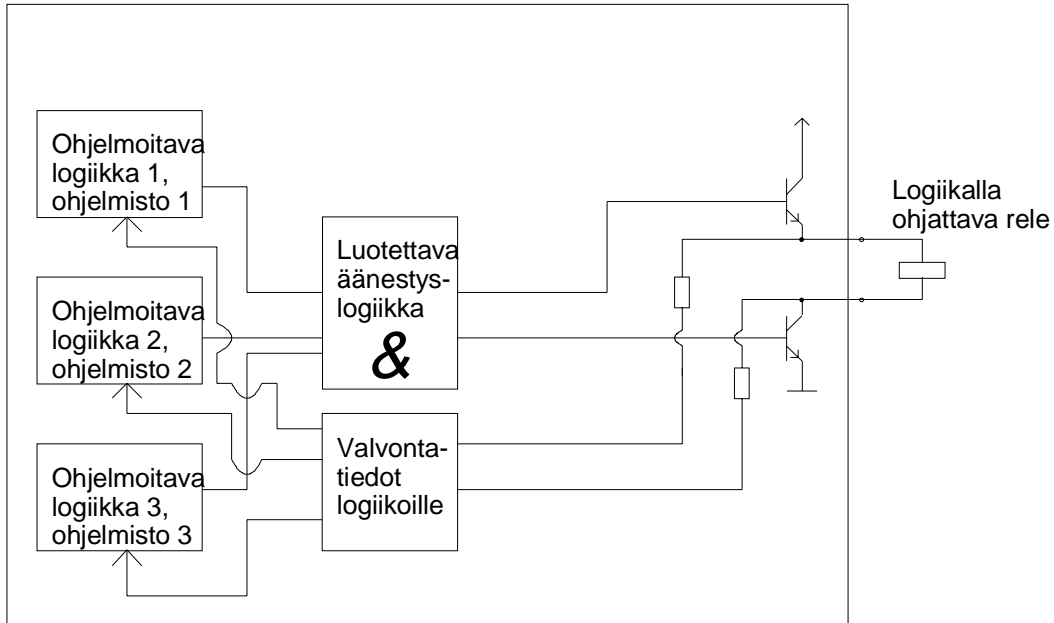


E = tulo, Q = lähtö

L E2	käynnistys mahdollinen, jos rele on päästänyt
O Q1	itsepito
A E1	pysäytys, jos tulo on alhaalla
= Q1	lähtö

Kuva 23. Esimerkki logiikan ja releen käytöstä varmistamassa toistensa toimintakuntoa. Kytkennällä saavutetaan SFS-EN 954 -standardin luokan 3 taso [Kleinbreuer1997].

Markkinoille on tullut viime vuosina useita turvalogiikkoja, joiden luvataan olevan standardin SFS-EN 954-1 luokan 4 mukaisia. Turvalogiikoissa on sisällä usein mm. kolme tavallista ohjelmoitavaa logiikkaa (logiikan vikaantuessa se poistetaan käytöstä), turvallinen äänestyspiiri (lähtö nousee ylös, jos kaikki logiikat sen sallivat), erilaiset ohjelmistot (ohjelmavirheiden minimoimiseksi), ”watchdog”-ajastimia (valvovat toimilohkojen suoritusajoja ja ohjelman kulkua) sekä muistipiirien valvontaa (vialliset tai muuttuneet muistipaikat tai viestit löydetään tarkastussummilla, kuten CRC-polynomeilla). Turvalogiikat ovat sisäisesti monimutkaisia laitteita ja niiden turvallisuus on pyritty takaamaan monilla eri keinoilla, mutta ongelmaksi jää vielä käyttäjän tekemä sovellusohjelmisto.



Kuva 24. Erään turvalogiikan (Pilz) yhden lähdön toteutus. Turvalogiikalla ohjataan oikealla olevaa relettä transistoreilla ja optoerottimilla. Transistorien toimintaa valvotaan nopeilla pulsseilla. Logiikka on tarkoitettu standardin SFS-EN 954-1 luokan 4 sovelluksiin.

Järjestelmien monimutkaistuessa ja elektronisten ohjausjärjestelmien hinnan laskiessa on ollut tarpeen viedä älyä toimilaitteisiin ja antureihin. Lisäksi kaapeleiden hinta on monissa järjestelmissä muodostunut niin suureksi, että on ollut tarpeen ottaa käyttöön hajautettuja ohjausjärjestelmiä ja kenttäväyliä myös turvallisuuskriittisiin ohjauksiin. Hätäpysäytys on usein helppo toteuttaa kenttäväylilläkin, jos kaikilta toimilaitteilta voidaan luotettavasti poistaa käyttöjännitteet. Tällöin varsinaisen hätäpysäytyksen toteuttavat piirit jäävät väylän ulkopuolelle.

Jos samaan väylään sijoitetaan esim. valokennot, koneen ohjaukseen kytketyt portit, tuntomatot, muut turvalaitteet ja joitain kriittisiä ohjauksia, tarvitaan erityistä tähän tarkoitukseen soveltuvaa turvaväylää. Eräs turvaväylä (ESALAN) on toteutettu käyttämällä kahta rinnakkaista CAN-väylää ja näiden välistä keskinäistä valvontaa.

5. VAARA-ALUEEN ERISTÄMINEN

Koneautomaatiojärjestelmissä pyritään estämään luvaton kulku järjestelmään, joten turvallisuustekniset toimenpiteet voidaan keskittää juuri kulkuaukkoihin. Ihmisille ja tavaroille on omat kulkuaukkonsa, mutta sen lisäksi tavaroiden kulkuaukkoa pitää valvoa, jottei ihminen pääsisi niistä luvattomasti järjestelmään. Ihmisille tarkoitetuissa kulkuaukoissa on tavallisesti portti, jonka kiinniolo tunnistetaan, ja mahdollisesti sähköinen lukinta. Ennen ihmisen menoa järjestelmään pyritään järjestelmän vaaralliset osat ajamaan sellaiseen tilaan, josta jatkaminen on kohtuullisen helppoa ihmisen poistumisen jälkeen. Tavaroille tarkoitettujen kulkuaukkojen valvonta on vaikeampaa, koska järjestelmän pitää niissä erottaa ihminen tavaroista tai ihmisen kulku tehdään riittävän vaikeaksi.

Tavallisesti laaja automaatiojärjestelmä rajataan aidoilla ja kiinnitetään erityistä huomiota lastaus- ja purkupaikkoihin ja kohtiin, joissa sallitaan ihmisen pääsy järjestelmään. Teknisin järjestelyin estetään ihmisen pääsy käynnissä olevaan järjestelmään ja toisaalta sallitaan tavaroiden vapaa kulku. Ihmisen pääsy järjestelmään toteutetaan yleensä erillisellä portilla, jonka kautta kuljettaessa järjestelmän toiminta toteutuu siten, että siitä ei ole ihmiselle vaaraa. Tällöin pyritään pysäyttämään ainoastaan se alue, jossa ihminen liikkuu.

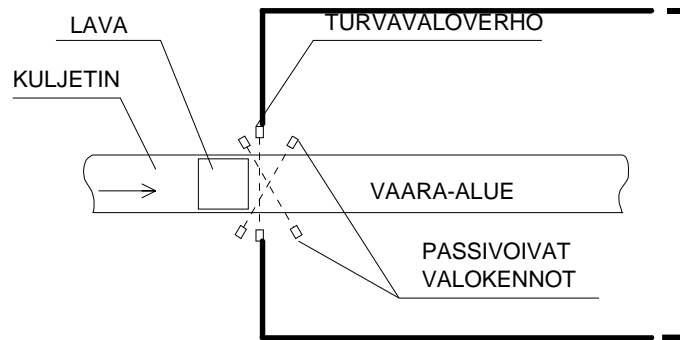
5.1 Menetelmiä lastaus- ja purkupaikoille

Lastaus- ja purkupaikoilla tarvitaan yleensä turva-anturia, joka havaitsee järjestelmään menevän ihmisen, antureita tai menetelmiä turva-anturin passivoimiseen sekä ohjausjärjestelmää, joka kykenee toteuttamaan passivoimisen luotettavasti. Passivoimisen toteuttavan ohjausjärjestelmän tulee olla vähintään samaa SFS-EN 954 -standardin luokkaa kuin varsinaisen turvavalokennon. Passivointi toteutetaan yleensä siten, että passivoivien antureiden tulee antaa esim. 0,5 s tarkkuudella samanaikaisesti tieto passivoimisen alkamisesta. Jos anturit toimivat eriaikaisesti tai eivät toimi jatkuvasti, passivointia ei hyväksytä ja turva-anturi pysyy toiminnassa. Passivointiin esitetään standardissa SFS-EN 415-4 seuraavia vaatimuksia:

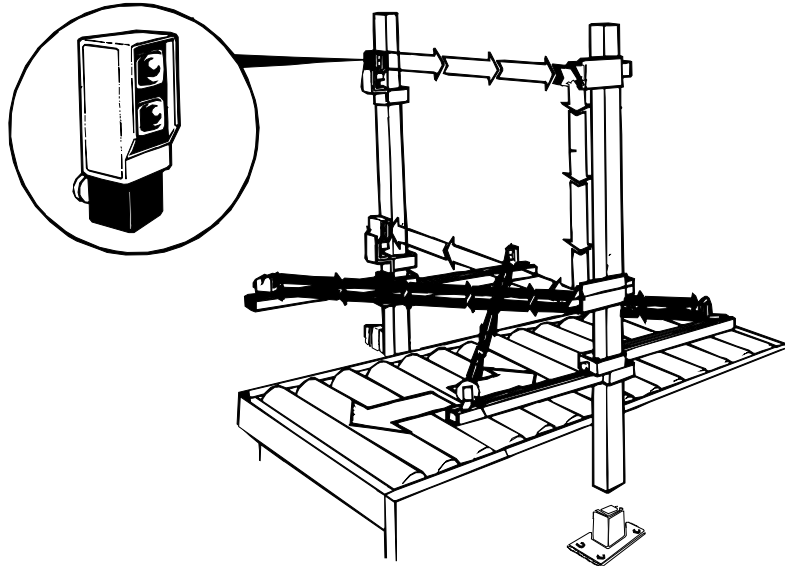
- Suojalaitteen passivointi saa tapahtua ainoastaan silloin, kun jokin toinen keino, kuten lava kulkuaukossa, takaa turvallisuuden.
- Passivoinnin tulee tapahtua automaattisesti (ei ihmisen toimien vaikutuksesta).
- Passivointi ei saa tapahtua yhden sähköisen signaalin perustella.
- Passivointi ei saa perustua yksinomaan ohjelmien tuottamiin signaaleihin.
- Virheellisessä järjestyksessä tulevat signaalit eivät saa aiheuttaa passivointia.

- Kosketuksettomaan tunnistukseen perustuvan laitteen toiminnan pitää palautua välittömästi lavan kuljettua sen ohi.
- Kuljettimen tukkeutuessa järjestelmä on pysäytettävä ja kuljetinta on ajettava tämän jälkeen käsiajolla.

Kun tavarat tai lavat viedään kuljetinta pitkin automaatiojärjestelmän sisälle, käytetään yhä useammin turvaloverhoa järjestelmän pysäytyksen toteuttamiseen ja ristikkäin asennettavia valokennoja tavaroiden tunnistamiseen. Tätä menetelmää esittävät kuvat 25 ja 26.



Kuva 25. Valoverhon passivointi (mykistäminen) ristikkäin olevilla valokennoilla. Passivoivien valokennojen säteiden risteyskohta on vaara-alueen sisäpuolella, jotta turvaloverhoa ei voisi passivoida vahingossa.



Kuva 26. Esimerkki turvalokennon passivoimisesta tavallisilla valokennoilla kuten edellisessäkin kuvassa. [Siba Delta]

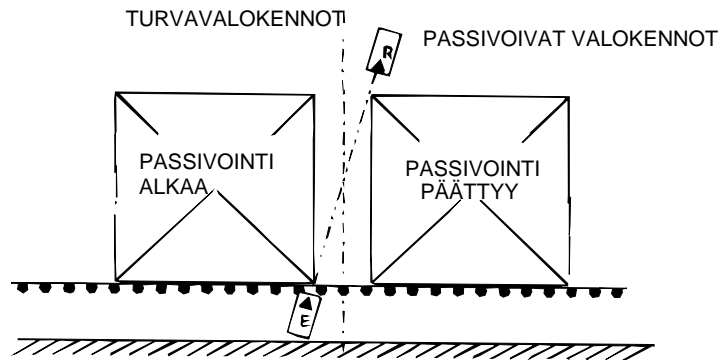
Menetelmän etuja:

- Ihminen ja lava erotetaan toisistaan yksinkertaisella menetelmällä.
- Käytettävät anturit ovat luotettavia.
- Turvalokennon passivoimiseen riittää kaksi tavallista valokennoa.
- Menetelmä mainitaan yleisellä tasolla standardiluonnoksessa.
- Menetelmä on luotettava.
- Järjestelmää on vaikea ohittaa, jos valokennot on suunnattu sopivasti.

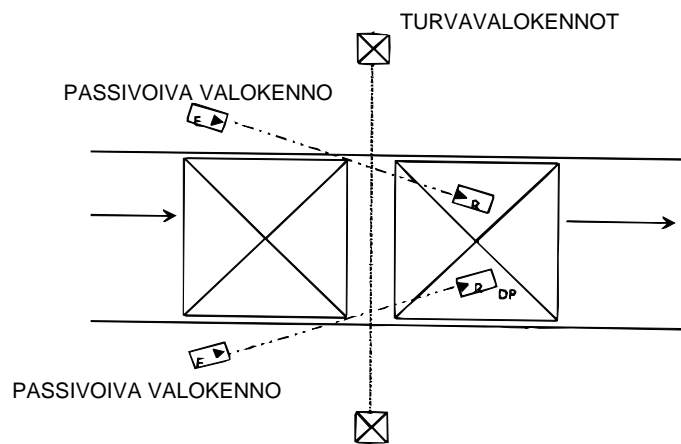
Menetelmän ongelmia:

- Menetelmää on vaikea soveltaa, jos lavojen koko, muoto tai asento vaihtelee huomattavasti.
- Jos lavat ovat pieniä, ei ihmistä voida luotettavasti erottaa lavasta ristikkäin olevilla valokennoilla, koska ihminen pystyy helposti vaikuttamaan molempiin passivoiviin valokennoihin.
- Sähkökatkos (tai hätäpysäytys) lavan ollessa valoverhon kohdalla voi tuoda ongelmia, koska valoverhon käynnistyminen edellyttää usein valoverhon vapaanaoloa käynnistystilanteessa. Passivointi sallitaan siis vain, jos valoverho on kunnossa ja passivointikomento annetaan oikein.
- Menetelmän käyttö voi olla vaikeaa, jos tilaa on vähän.
- Menetelmän käyttö voi olla liian kallista, jos valvottavia kohteita on kymmeniä.
- Menetelmää ei voida soveltaa, jos ympäristöolosuhteet ovat liian vaikeat valoverholle ja valokennoille (esim. lika tai valo).

Edellisessä menetelmässä kuvattiin, kuinka passivoivat säteet menevät ristiin ylhäältä päin katsottuna. Sama periaate ilman risteäviä valokennoja on kuitenkin mahdollista toteuttaa kuvien 27 ja 28 tapaan myös siten, että valokennot ovat vinossa sekä vaakasuorassa että pystysuunnassa. Tällöin valokennot asetetaan siten, että passivointi onnistuu kaikilla käytetyillä lavoilla ja toisaalta ihmisen on kuitenkin vaikea huijata laitetta.

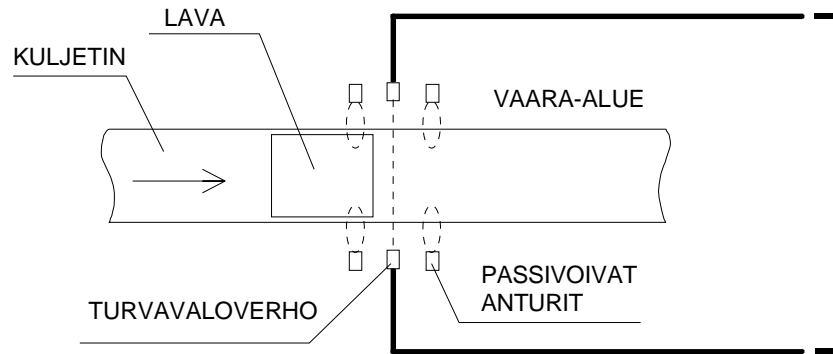


Kuva 27. Kuvassa passivoivat valokennot on sijoitettu ylös-alassuunnassa vinottain [Stig Wahlström Oy].



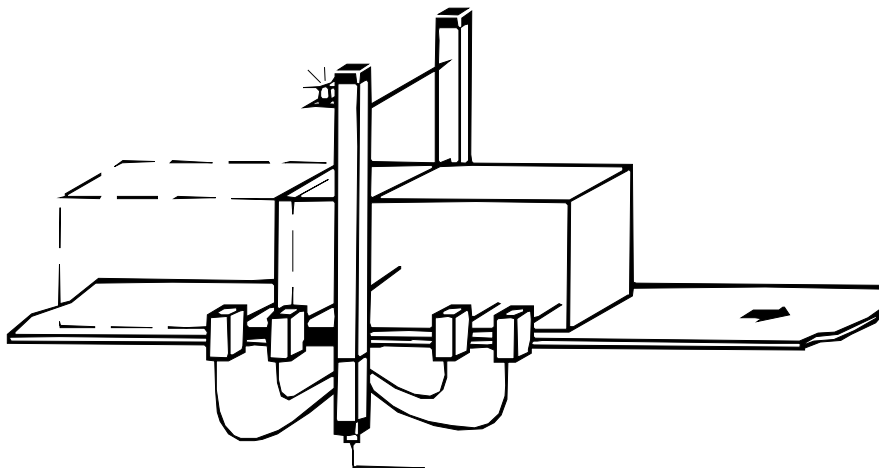
Kuva 28. Kuvan esimerkissä valokennot on sijoitettu vinottain eri korkeudelle kuten edellisessäkin kuvassa [Stig Wahlström Oy].

Aina ei valokennojen käyttö passivoivina antureina ole järkevää. Jos lavojen muodot vaihtelevat paljon tai lavat ovat pieniä, saadaan ihminen erotettua lavasta lähestymiskytkimillä. Induktiiviset lähestymiskytkimet voivat tunnistaa esim. lavaan kiinnitetyn metalliliuskan ja kapasitiivinen tai optinen lähestymiskytkin voi tunnistaa lavan tai paketin suoraan. Menetelmässä tarvitaan neljä lähestymiskytkintä (kuva 29). Samalla puolella olevien lähestymiskytkimien välinen etäisyys on menetelmässä selvästi lavaa pienempi, jotta ainakin yksi lähestymiskytkin havaitsee lavan keskellä turvalaverhoa ja toisaalta alue, jossa passivointi tapahtuu, jää pieneksi. Lähestymiskytkimet on sijoitettu siten, ihminen ei ylety lähestymiskytkimiin yhtäaikaan.



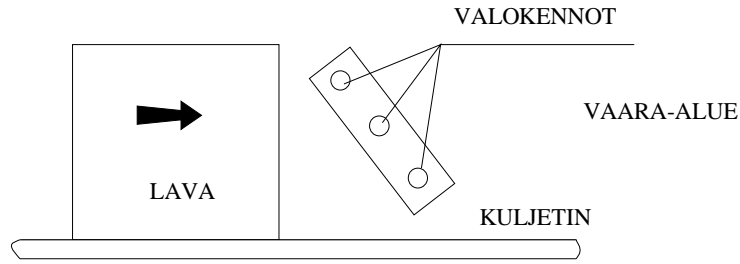
Kuva 29. Kuvan esimerkissä lava havaitaan lähestymiskytkimillä (induktiivinen lähestymiskytkin, ultraäänianturi, rajakytkin tms.).

Myös peräkkäin olevilla valokennoilla voidaan erottaa ihminen paketista (kuva 30). Menetelmässä tarvitaan siis kaksi valokennoa enemmän kuin ristikkäin suunnatuissa valokennoissa, mutta tässä menetelmässä saadaan selville myös lavan kulkusuunta ja nopeus. Näitä tietoja on mahdollista käyttää hyväksi paketin tunnistamisessa.



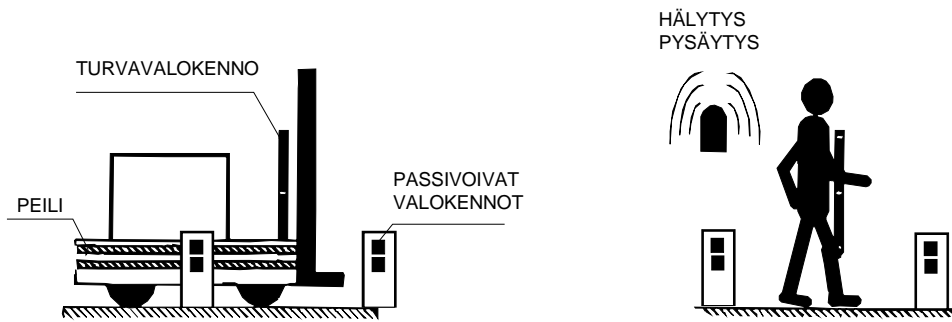
Kuva 30. Peräkkäin olevilla valokennoilla tunnistetaan paketit ja passivoidaan valoverho tarpeelliseksi ajaksi. [Sick optic electronic]

Jos järjestelmästä tulee vakiokokoisia lavoja ainoastaan pois, turvalokennot on mahdollista sijoittaa hieman vinottain siten, että lava vaikuttaa ensin ylimpään valokennoon, sitten keskimmäiseen ja lopuksi alimmaiseen valokennoon. Toimintajärjestykseen ja toiminta-aikaan perustuen saadaan selville, että lava on tulossa ulos eikä ihminen ole menossa sisään. Jos valokennot toimivat väärässä järjestyksessä tai toiminta-aika on väärä, annetaan hätäpysäytys. Erityisiä passivoivia valokennoja menetelmässä ei tarvita. Valokennoja valvotaan menetelmässä tarkasti toimintasekvenssillä (dynaaminen valvonta), mutta ohjausjärjestelmän luotettavuudelta vaaditaan paljon saman luotettavuuden (turvallisuuden) saavuttamiseksi. Menetelmää esittää kuva 31. [SFS-EN 415-4]



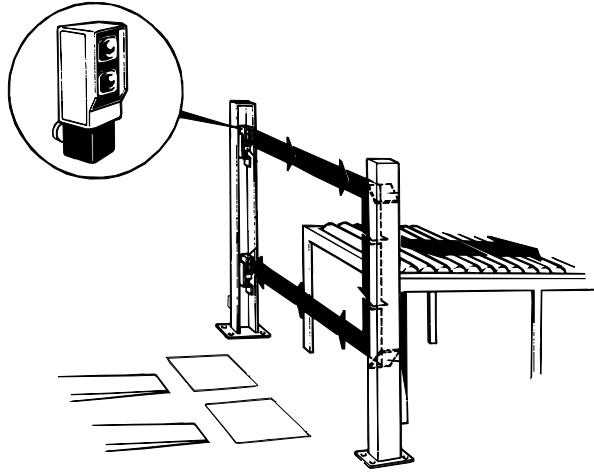
Kuva 31. Lavan kulun valvonta dynaamisesti valokennoilla.

Turvavaloverhon passivointi vihivaunun kulun ajaksi voidaan toteuttaa myös valokennoilla ja vihivaunuun kiinnitetyllä peilinauhalla (kuva 32). Ainoastaan peilinauha kääntää valosäteen polarisaatiokulmaa vastaanottimelle sopivaksi ja turvavaloverho passivoidaan. Valokenno pystyy havaitsemaan peilinauhan kaukaakin, joten ajokohta ei ole kovin tarkka ja prismapeili (peilinauha) sallii jonkun verran väärää heijastuskulmaakin, koska valo heijastuu takaisin tulolähteen suuntaan.



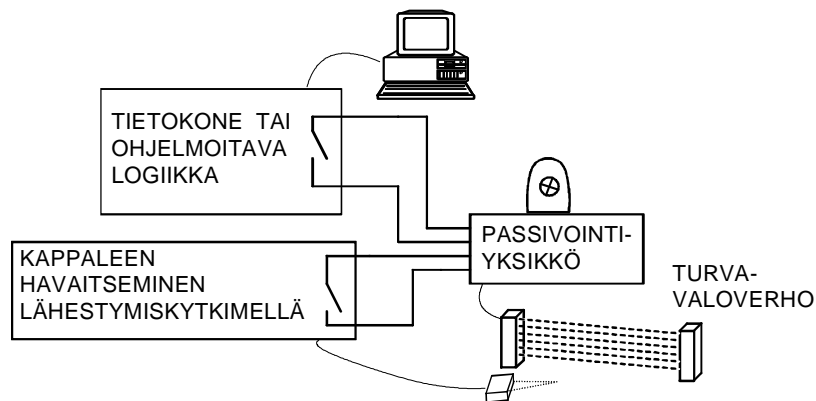
Kuva 32. Kuvan esimerkissä passivoivat valokennot havaitsevat siirtovaunun kyljessä olevan heijastinnauhan ja turvavalokenno passivoidaan. Oikealla ihminen menee alueelle ja turvavalokenno pysäyttää. [Fiessler Elektronik]

Kuvan 33 esimerkissä turvavalokennot passivoidaan induktiivisilla antureilla, jotka havaitsevat trukin metalliosat. Induktiiviset anturit tulee sijoittaa siten, että ne havaitsevat trukin koko ajan tämän ollessa turvavaloverhon vaikutuspiirissä. Tehtävä vaikeutuu, jos käytössä on erilaisia trukkeja, induktiiviset anturit ovat epäherkkiä ja kaikissa trukeissa ei ole samassa paikassa kohtaa, josta tunnistus voitaisiin tehdä. Toisaalta, jos halutaan rajoittaa sitä, millä trukilla saa ajaa järjestelmään, voidaan tunnistuksessa käyttää saattomuisteja. Tällöin passivointi sallitaan ainoastaan, jos trukissa on saattomuisti.



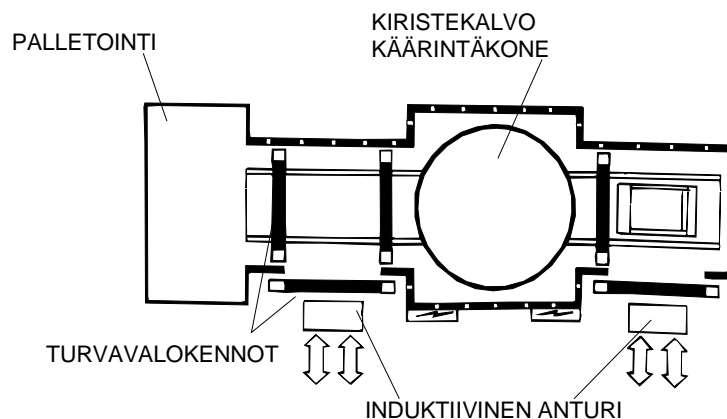
Kuva 33. Kuvan esimerkissä valokennot passivoidaan trukin tunnistavilla induktiivisilla silmukoilla. [Siba Delta]

Standardin SFS-EN 415-4 mukaan pelkästään ohjelmatiedon varassa passivointi ei saa olla, mutta jos lisäksi käytetään anturia, voidaan ohjelmatietoa hyödyntää. Siten lava voidaan tunnistaa yhdellä anturilla ja ohjausjärjestelmän antamalla lavan saapumistiedolla kuvan 34 tapaan.



Kuva 34. Kuvan esimerkissä logiikka ilmoittaa turvalavoverholle, että lava on tulossa. Riittävän redundanssin aikaansaamiseksi lähestymiskytkimellä varmistetaan tieto.

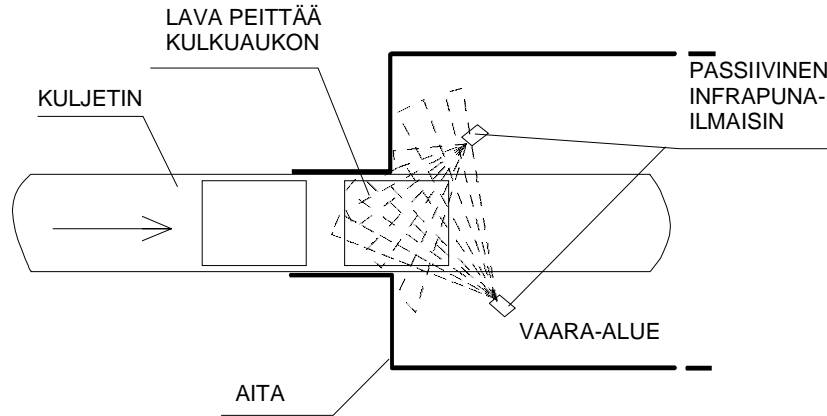
Joissain tilanteissa on tarpeen käyttää muuttuvaa turvallista aluetta automaatiojärjestelmän ympärillä. Kuvan 35 esimerkissä trukin saapuminen induktiivisten antureiden alueelle passivoi ensimmäiset turvalalokennot ja aktivoi toiset turvalalokennot. Siten taataan turvallisuus, vaikka passivointikomento jäisi voimaan liian pitkäksi ajaksi.



Kuva 35. Kuvan esimerkissä trukin tullessa valoverhon eteen, valoverho passivoidaan ja seuraavat valokennot aktivoidaan. Trukki pääsee tällöin valokennoilla rajattuun tilaan. [Siba Delta]

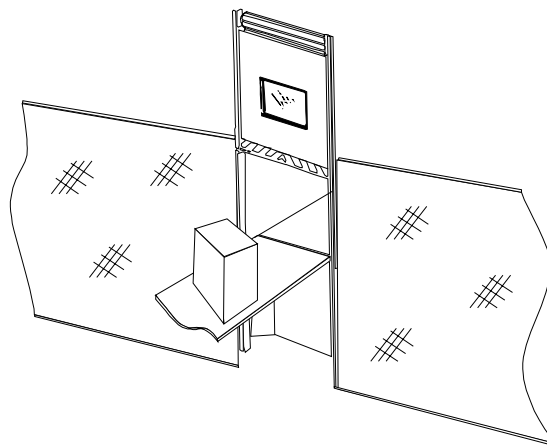
Kuljettimella on mahdollista suojata aukkoa myös siten, että kuljettimella pidetään koko ajan vähintään yhtä täyttä lavaa, joka estää ihmisen pääsyn järjestelmään. Tämä onnistuu siten, että lavan tullessa järjestelmästä lava siirtyy purkupaikalle vasta, kun toinen lava on tulossa. Vastaavasti lavan mennessä järjestelmään lava jää odottamaan seuraavaa lavaa ennen kuin se siirretään sisälle järjestelmään. Käynnistystilanteissa lavaa pitää ajaa käsiajolla. [SFS-EN 415-4]

Kuvan 36 esimerkissä käytetään passiivisia infrapunailmaisimia varmistamaan sitä, että ihminen havaitaan, vaikka hän yrittäisi päästä paketin mukana sisälle järjestelmään. Jos passiivinen infrapunailmaisin havaitsee ihmisen, niin järjestelmä pysäytetään. Passiiviset infrapunailmaisimet on kahdennettu luotettavuuden lisäämiseksi, koska ilmaisimilla ei ole toiminnallista varmistusta, joka aktivoituisi toimintasekvenssin aikana. Passiivista infrapunailmaisinta on mahdollista käyttää portilla myös järjestelmän pysäyttämiseen, varoittamiseen, muiden turvalaitteiden aktivoimiseen tai muiden turvallisuutta lisäävien toimenpiteiden ohjaamiseen. Passiivisen infrapunailmaisimen huono puoli on se, että se saattaa antaa joissain tilanteissa vääriä hälytyksiä (vrt. luku 3).



Kuva 36. Kuvan esimerkissä lava peittää kulkuaukon ja passiiviset infrapunailmaisimet varmistavat, että ihminen ei pääse luvatta alueelle.

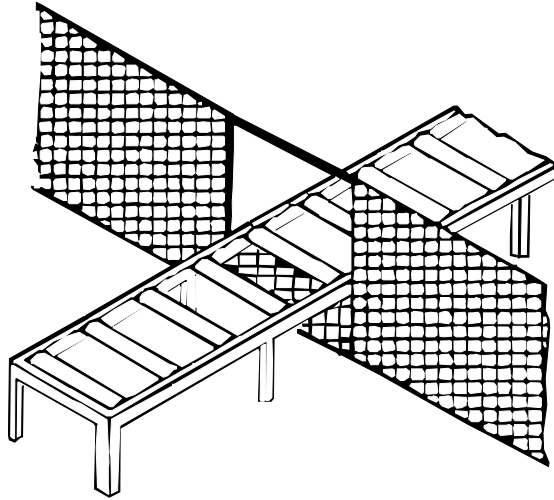
Erityisesti ahtaissa kohteissa valokennojen ja muiden turva-antureiden edellyttämiä etäisyyksiä vaarakohtaan on vaikea toteuttaa. Tällöin voidaan käyttää automaattiovea, joka avautuu lavan tullessa järjestelmään tai poistuessa siitä. Turvalaitteen passiivointi eli portin avaaminen voidaan tehdä samaan tapaan kuin edellä mainituissa esimerkeissä. Kuvassa 37 on portti, joka ohjataan auki paketin tullessa järjestelmään. Ohjattu suojuus voi muodostua myös kahdesta toisiinsa kytketystä suojasta siten, että aina toinen on auki ja toinen kiinni. Tämäntyyppistä ratkaisua esitetty tarkemmin FMS-järjestelmän lastaus- ja purkupaikkoja käsittelevässä luvussa. Yksinkertaisimmillaan portissa ei tarvita varsinaista porttia liikuttavaa toimilaitetta, vaan lava tullessaan portin kohdalle aluksi avaa lukituksen ja sitten työntää portin auki. Jouset vetävät portin jälleen kiinni.



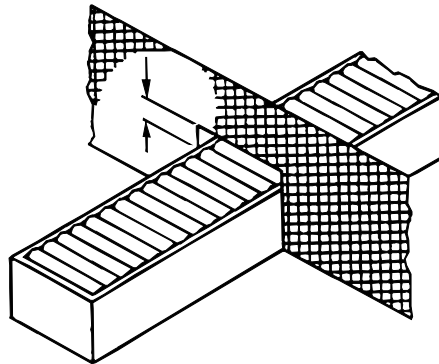
Kuva 37. Ohjattuja suojuksia, joista tavaraa tuodaan järjestelmään sisään tai viedään sieltä ulos ohjatun suojuksen kautta.

Kuljettimia koskevassa standardiluonnoksessa esitetään, kuinka ihmisen mahdollisuutta päästä vaara-alueelle vähennetään asettamalla rullakuljetin korkealle (kuva 38), järjestämällä kulkuaukko riittävän matalalle (kuva 39) tai

järjestämällä rullat sopivan etäälle toisistaan. Edellä mainitut keinot eivät yleensä ole niin tehokkaita kuin anturit, mutta riskin arvioinnilla voidaan perustella keinojen riittävyyttä joihinkin kohteisiin. Myös lisäantureilla voidaan lisätä keinojen tehokkuutta.



Kuva 38. Kuvan esimerkissä ihmisen mahdollisuutta päästä vaara-alueelle vähennetään yli 1 m korkeuteen sijoitetulla kuljettimella. (T. Siirilä moniste)



Kuva 39. Kuvan esimerkissä ihmisen mahdollisuutta päästä vaara-alueelle kuljetinta pitkin vähennetään tekemällä kulkuaukko alle 0,5 m korkeaksi. [prEN 619]

5.2 Yleisiä ohjeita

Laajat koneautomaatiojärjestelmät kannattaa yleensä jakaa toiminta-alueisiin, jotka voidaan tarvittaessa poistaa käytöstä vaikuttamatta muun osan tuotantoon. Jos käsiteltäviä tuotteita tulee järjestelmään jatkuvasti paljon ja käsittely tapahtuu ilman puskurivarastoja, ei osittamisesta ole kovin paljon hyötyä, koska koko

järjestelmä pitää pysäyttää tuotteiden kasautumisen ja toisaalla niiden loppumisen vuoksi kuitenkin. Useimmissa kohteissa kuitenkin tuotantoa pystytään jatkamaan, vaikka yksi osa olisikin poissa käytöstä. Juuri hätäpysäytys- ja suoja-alueisiin jaossa pitää olla tarkkana, sillä järkevällä alueisiinjoella pystytään tuotanto pitämään korkealla, vaikka yksi alue olisikin poissa käytöstä (esim. huolto-, korjaus-, asennus- tai häiriönpoistotilanteissa).

Kun järjestelmässä on paljon suoja-alueita, on alueilla myös keskinäisiä rajapintoja. Kun yksi alue poistetaan käytöstä, pääsee työntekijä poistetun alueen kautta myös muille alueille. Myös tätä kulkua tulee valvoa. Järjestelmän sisällä ihmisiä on harvoin ja toisaalta siellä työskentelevät henkilöt ovat ammatti-ihmisiä, jotka tuntevat järjestelmän, joten riski ihmisen kulkemisesta alueelta toiselle tahattomasti on pieni. Standardin SFS-EN 528 (Hyllystöhissit) mukaan hissiltä toiselle kulun estoon riittävät yli metrin korkuiset kaiteet, joissa raot ovat alle 0,5 m leveitä. Myös tunnistimia, kuten valokennoja, voidaan käyttää hyllystöhissin sisällä. Tunnistimien tulee olla itseään valvovia standardin EN 61496-1 mukaan.

Standardin SFS-EN 528 mukaan hyllystöhissiä rajaavan aidan tulee olla vähintään 2 m korkea. Standardin SFS-EN 294 mukaan aidan tulee olla vähintään 1,4 m korkea. Koska automaatiojärjestelmät sisältävät monenlaisia vaaroja ja ne muistuttavat usein hyllystöhissejä, on 2 m korkea aita yleensä hyvä ratkaisu. Aidan aukot ja korkeus määräävät lähimmän sallitun vaarakohdan etäisyyden aidasta standardin SFS-EN 294 mukaan. SFS-EN 811 -standardin mukaan ihminen ei pääse kulkemaan alle 180 mm leveän aukon läpi. Tämä arvo määrittää siis mm. aidan ja maan välisen aukon leveyden alarajan, jos alueella on väärinkäytön mahdollisuus.

Hyllystöhisseissä portin tulee olla ulospäin aukeava, sisältäpäin avattavissa ilman avainta ja ulkoapäin avaimella. Lukollisella portilla saadaan vähennettyä järjestelmän pysähtymisajan merkitystä, sillä avaimen ottaminen ohjauskaapista pysäyttää järjestelmän ja liikkeet ehtivät pysähtyä ennen kuin ihminen ehtii vaara-alueelle. Jos portissa ei olisi lukkoa, pitäisi järjestelmän pysähtyä kuitenkin ennen kuin ihminen ehtii vaara-alueelle. Sama vaatimus koskee myös valokennoilla toteutettua porttia.

Koneautomaatiojärjestelmän sisällä on yleensä monenlaisia koneita, kuten robotteja, työstökoneita, pakkaus-koneita, kuljettimia ja siirtovaunuja. Myös järjestelmän sisällä olevien koneiden vaatimuksia pitää noudattaa, sillä yleensä kuitenkin jossain tilanteessa joudutaan järjestelmää ajamaan käsiajolla alueen sisältä.

6. SOVELLUSESIMERKIT

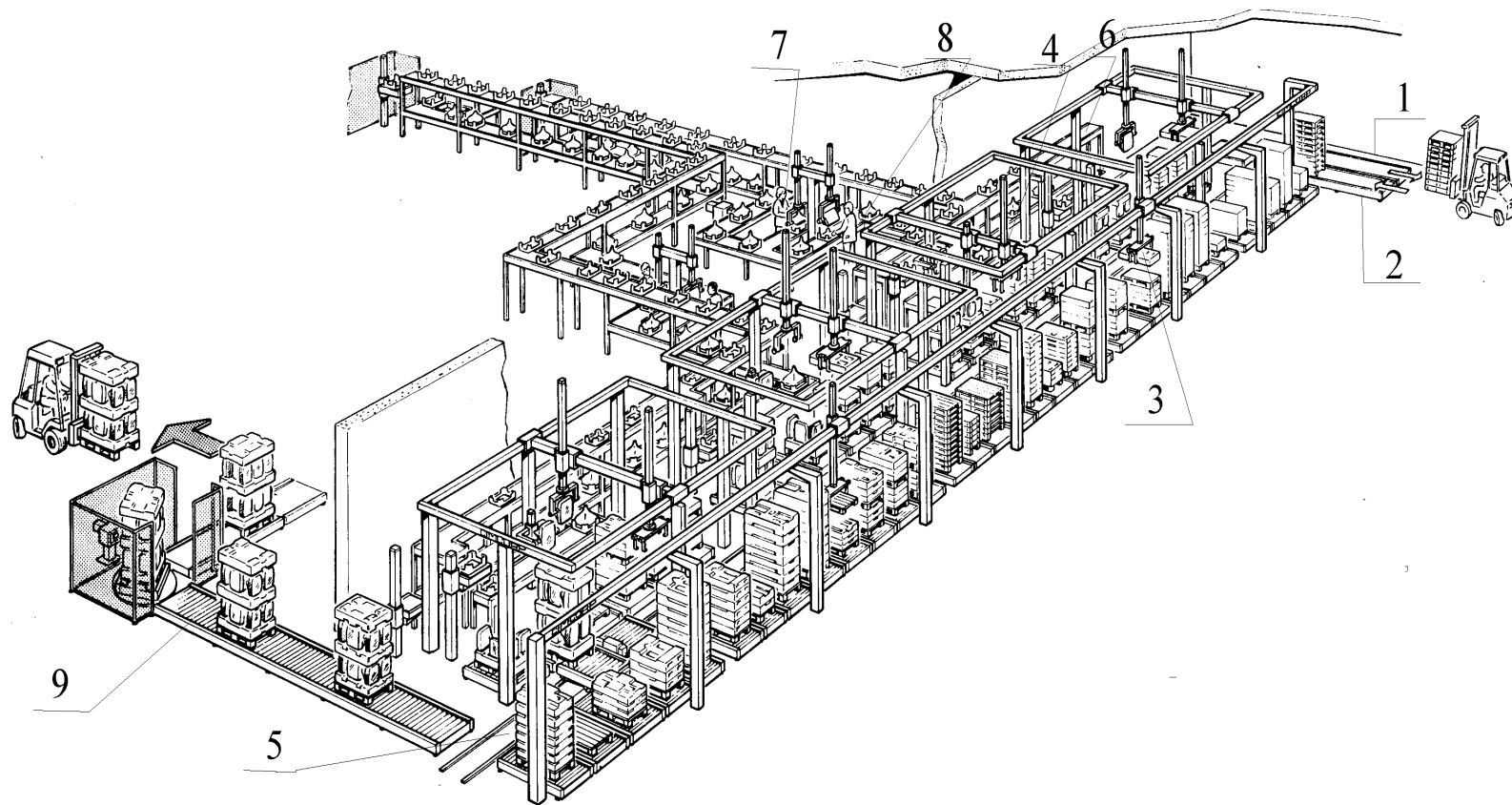
6.1 Kuvaputkien pakkausjärjestelmä

Kuvassa 40 on kuvaputkien pakkauslinja piirrettynä ilman turvalaitteita. Pakkausmateriaali tuodaan järjestelmään oikealta kohtien 1 ja 2 kohdalta. Samasta kohdasta tulevat myös hylkylavat ulos. Tavara viedään kuljetinta pitkin siirtovaunulle. Siirtovaunu (kohdassa 5 raiteet) vie pakkausmateriaalin esikäsittelyyn, jota tehdään alueella 3. Esikäsittelyssä robotti tekee pakkausmateriaalipinoja, joita voidaan käyttää nopeasti varsinaisessa pakkaamisessa. Siirtovaunu siirtää esikäsitellyt pinot pakkaajarobottien alueella olevaan paikkaan (3 paikkaa). Kuljetinta pitkin tulee pakattavia kuvaputkia pakkaajarobottien alueelle (kohta 4). Robotti siirtää kuvaputken lavalle (3 lavapaikkaa). Samalla johteella oleva robotti siirtää pakkausmateriaalia kuvaputkien alle, väliin ja päälle. Siirtovaunu vie valmiit lavat kuljettimelle.

Pakatut kuvaputket poistuvat kohdalla 9 olevaa kuljetinta pitkin. Kuljettimen päältä on kulkutie vieressä olevaan robottisolun. Kuljetinta pitkin valmiit lavat poistuvat järjestelmästä. Tässä kohdassa ovat turvaloverho ja passivoivat valokennot valvomassa kuljettimen liikennettä. Kuljettimen vieressä on myös portti, josta pääsee kuljettimen yli järjestelmään. Portin saa auki pysäyttämällä portin takana olevan järjestelmän osan.

Kuvan järjestelmälle on tehty vaara-analyysi käyttäen hyväksi tarkastuslistoja. Järjestelmän vaarakohtia ovat lähinnä robotit ja siirtovaunu. Nämä vaarakohdat ovat kaikki järjestelmän sisällä, joten juuri järjestelmään pääsyyn on kiinnitetty huomiota. Alue on aidattu 2 m korkealla aidalla, ja järjestelmään pääsee vain porttien kautta tai tavarat kuljetinta pitkin. Kuljettimilla on turvalokennot ja ristikkäin olevat passivoivat valokennot. Portit on lukittu ja ne saa auki pysäyttämällä kyseisen portin takana oleva järjestelmän osa. Samalla aktivoituu myös siirtovaunun vieressä oleva valokenno, jolla valvotaan sitä, ettei ihminen mene käynnissä olevaan järjestelmään. Valokennon säteen katkaisu aiheuttaa koko järjestelmän pysäytyksen.

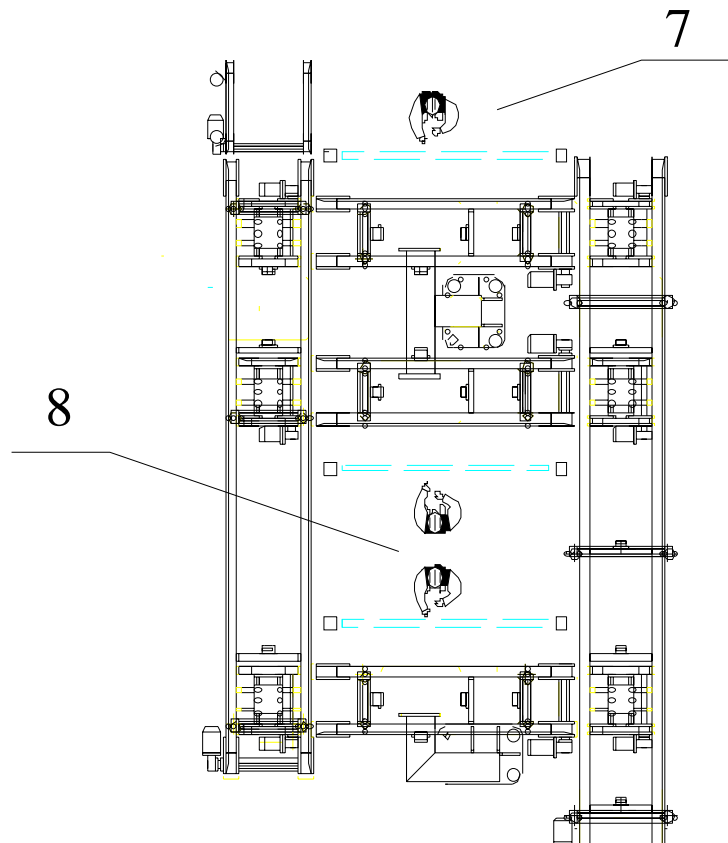
Järjestelmässä paletteja kuljettavissa kuljettimissa on vaarat minimoitu rakenteellisin keinoin siten, että sormi ei mahdu kuljettimen sisään ja toisaalta paletin voi helposti pysäyttää käsin. Kuljettimissa on ketjut, joissa on rullat. Jos paketti törmää esteeseen, alkavat rullat pyöriä ja ketju kulkee vapaasti eteenpäin. Rullien kuuluu siis pyöriä silloinkin, kun kuljettimella on ruuhkaa ja useita paletteja on pysähtynyt.



Kuva 40. Kuvaputkien pakkauslinja.

Järjestelmä on jaettu turvavyöhykkeisiin siten, että kukin robotti (tai robottipari) on omassa vyöhykkeessään ja kaksi vierekkäistä turvavyöhykettä muodostaa hätäpysäytysalueen. Kukin turvavyöhyke voidaan erottaa muusta järjestelmästä esim. huoltoa tai häiriönpoistoa varten. Jos vyöhykkeeltä pyrkii viereiseen vyöhykkeeseen, pysäytetään koko järjestelmä. Koko järjestelmän pysäyttäminen on tarpeen, koska ihmisen paikkaa järjestelmässä ei tällöin enää tiedetä tarkasti. Hätäpysäytysalue on laajempi kuin turvavyöhyke, jotta hätäpysäyttimen painaminen varmasti pysäyttäisi juuri sen alueen, mitä on tarkoitettu. Hätäpysäyttimen painaminen on harvinaista, joten tämä alue voi olla melko laajakin. Toisaalta paikallinen hätäpysäytys ei pysäytä koko järjestelmää, jotta hätäpysäyttimen painaja ei epäröisi painamista, mahdollisen tuotantokatkoksen vuoksi. Järjestelmässä on myös hätäpysäytys, joka pysäyttää koko järjestelmän. Mikäli mahdollista, järjestelmä tai sen osa tulisi pysäyttää mieluiten tuotantopysäytyksellä, koska hätäpysäytyksessä servo-ohjatut moottorit menettäisivät paikkatietonsa ja uudelleenkäynnistys edellyttäisi kotiasemaan ajoa.

Kuvassa 41 on pakkauslinjan tarkastusasema. Kuvaputkia tulee kuljetinta pitkin tarkastukseen. Robotti tarttuu kuvaputkeen paineilmatarttujalla (tämä ei ole imukupitarttuja) ja vie putken tarkastajan viereen. Robotti on valoverhon takana, ja valoverhoon vaikuttaminen pysäyttää robotin. Kuvaputkea tarkastettaessa robotti pysähtyy ja sen kuvaputkea pitävät nivelet jäävät veltoksi. Siten ihminen pystyy kääntelemään kuvaputkia tarvitsematta käyttää voimaa.



Kuva 41. Kuvaputkien tarkastus.

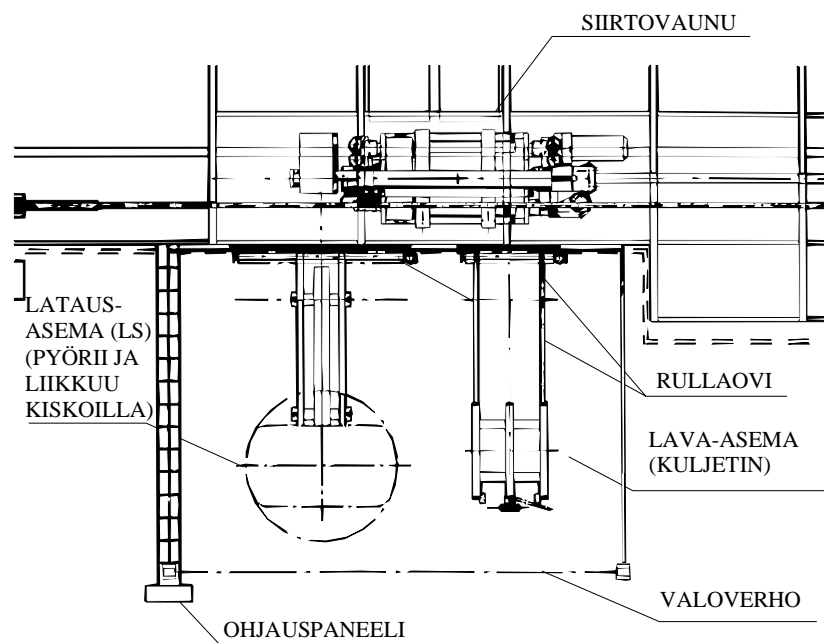
Tämän järjestelmän osan vaaran aiheuttavat lähinnä robotit. Kuljettimet ovat rakenteeltaan kohtuullisen vaarattomia, sillä niissä ei ole puristumisvälejä ja tavaraa kuljetetaan rullien päällä, jotka alkavat pyöriä, jos lavan kulku estyy. Siten esim. käden asettaminen lavan eteen pysäyttää lavan, vaikka kuljetin liikkuukin. Robotin edessä on valoverho, joka pysäyttää robotin valoverhoon vaikutettaessa. Pääsy kuljettimien väliin jäävään työpisteeseen on järjestetty pienellä siirrettävällä sillalla. Kulkutie on siis tilan puutteen vuoksi melko vaatimaton.

6.2 FM-järjestelmän lataus- ja purkupaikat

Tämän kohdan esimerkeissä järjestelmän pahimmat vaarat muodostavat rullaoven takana oleva siirtovaunu ja pyörivä pöytä sekä lavakuljetin. Turvallisuusteknisiin ratkaisuihin on vaikuttanut ennen kaikkea lavakuljettimien ja kääntöpöytien vaarallisuus sekä tarvittava nopeus.

Latausasema, jossa pöytä ja lavakuljetin voivat olla automaattisesti toimivia

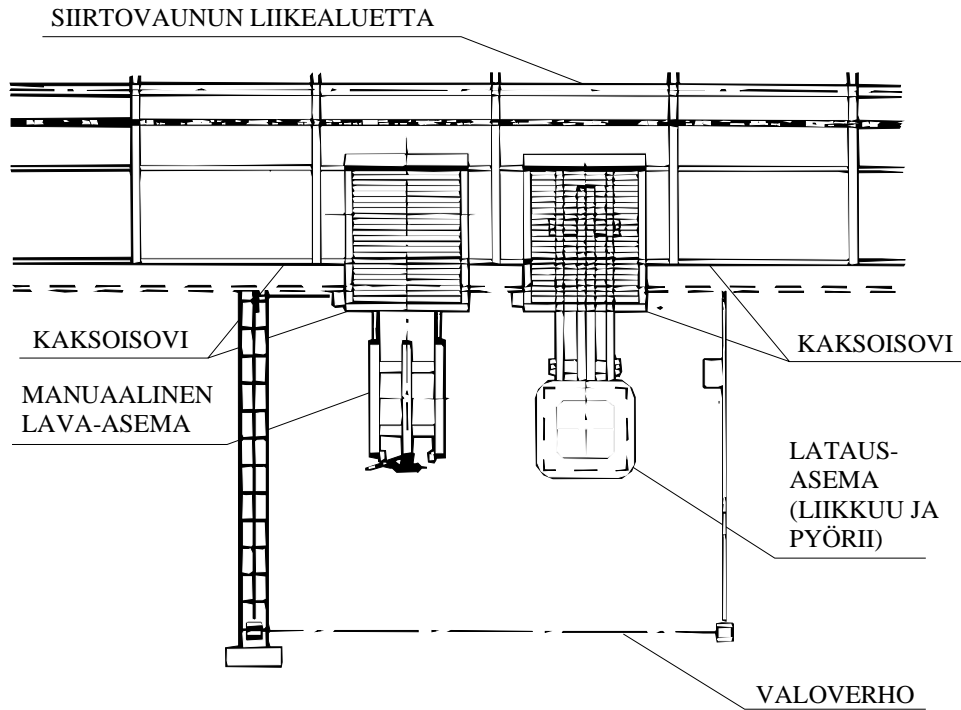
Kuvassa 42 on latausasema, jossa latausalue on rajattu valokennoilla ja aidalla ja järjestelmään pääsy estetään automaattisella rullaovella. Latausaseman rullaovi pidetään normaalisti kiinni. Tällöin ihminen pääsee latausasemalle ja mikään automaattinen toiminto ei käynnisty. Ohjauspaneeli on sijoitettu aseman ulkopuolelle, sisäpuolelta voidaan kuitenkin ohjata pöydän liikkeitä kaksinkäsinohjauksella. Kaksinkäsinohjauksessa pöytä liikkuu ainoastaan silloin, kun molempiin painikkeisiin vaikutetaan yhtä aikaa. Kun latausalueella ei enää ole ihmisiä, alue kuitataan vapaaksi ja valoverho kytkeytyy toimintaan. Tämän jälkeen pöytä ja lavakuljetin voivat liikkua automaation ohjauksessa ja tarvittaessa rullaovet voivat aueta.



Kuva 42. Esimerkki latausasemasta, jossa pääsy latauspaikalta järjestelmään on rajattu rullaovella.

Latausasema, jossa on paletin automaattiset siirtoliikkeet

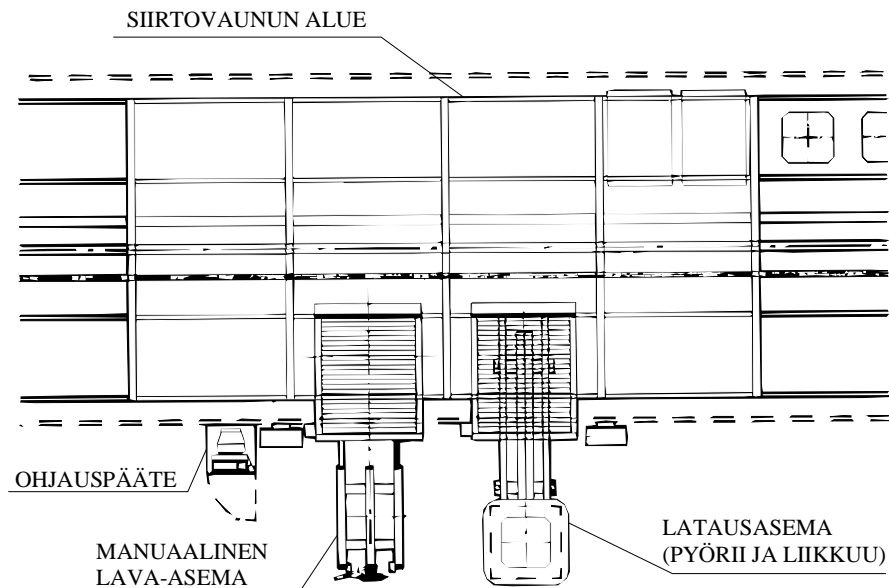
Kuvassa 43 on esimerkki valokennoin ja aidoin rajatusta latauspaikasta, jossa järjestelmään pääsy on estetty kaksoisovella. Latausasemalta siirtovaunun alueelle pääsy on estetty kaksoisovella, jossa toinen ovi on kiinni ja toinen on auki. Normaalisti latausaseman puoleinen ovi on kiinni ja siirtovaunun puoleinen ovi auki. Siirtovaunu voi tuoda lavan ovien väliin ja, kun ovi siirtyy siirtovaunun puolelle, lava voidaan siirtää latausaseman puolelle. Valoverholla voidaan pysäyttää kaksoisoven, lavakuljettimen ja pöydän automaattiset liikkeet. Latausasemalla voi työskennellä siirtovaunun liikkeiden pysähtymättä, jos kaksoisoven toinen puoli on kokonaan kiinni (ovi ei ole jäänyt väliasentoon).



Kuva 43. Esimerkki latausasemasta, jossa järjestelmään pääsy on estetty kaksoisovella.

Latausasema, jossa kuljettimen siirtoliikkeet ovat automaattisia ja paletin siirtoliikkeet ajetaan painonapeilla

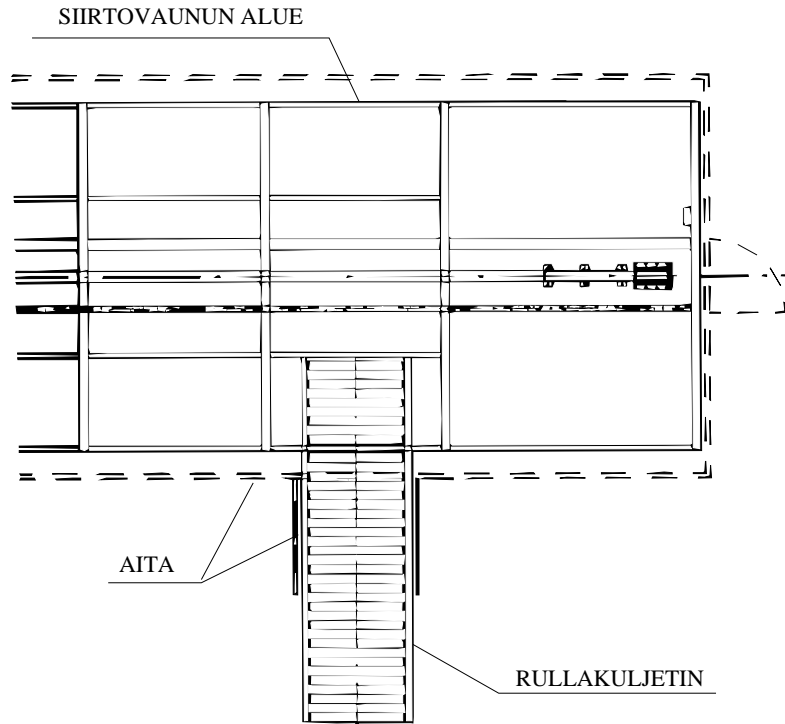
Kuvassa 44 on esimerkki avoimesta latauspaikasta, jossa järjestelmään pääsy on estetty kaksoisovella. Luvassa on manuaalinen asema ja lavakuljetin. Manuaalisella asemalla tehdään lava valmiiksi ja työnnetään lava siirtovaunun ulottuville. Lavakuljetinta, liikkuvaa pöytää ja kaksoisovia ohjataan pakkokäyttöisillä hallintalaitteilla. Kaikissa liikkeissä on automaattinen aikavalvonta. Kaksoisovista siirtovaunun puoleinen ovi on normaalisti auki, jolloin siirtovaunu voi vapaasti tuoda ja viedä lavoja.



Kuva 44. Esimerkki avoimista latauspaikoista, joissa automaatiojärjestelmään pääsy on estetty kaksoisovella.

Lava-asema, jossa kuljetin tuo ja vie lavat

Kuvan 45 latausasemassa lava tuodaan ja viedään järjestelmään rullakuljettimella. Lava tuodaan kuljettimelle esim. trukilla ja ajetaan pakkoikäyttöisillä hallintalaitteilla siirtovaunun ulottuville. Vastaavasti siirtovaunun tuodessa lavan kuljettimelle lava ajetaan manuaaliohjauksella radan päähän. Eri sovelluksissa tarvitaan erityyppisiä ja erikorkuisia kuljettimia, ja siksi tarvittavat turvatoimenpiteetkin vaihtelevat. Jos kuljetin on korkealla ja se on vaikeakulkuinen, riittävät aidat turvallisuusteknisiksi toimenpiteiksi, kun taas jos kuljetin on matalalla ja kuljetinta pitkin voi kävellä, tarvitaan esim. valokennoja (kohta 5.1) estämään ihmisen pääsy käynnissä olevaan järjestelmään.



Kuva 45. Latausasemalla lava tuodaan tai viedään kuljettimella järjestelmään.

6.3 Teräsrullien pakkausjärjestelmä

Järjestelmä sisältää automaattisen teräsrullien pysty- ja vaakapakkauslinjan. Pystypakkauslinjalla pakataan pieniä rullia (rainoja) useampia päällekkäin. Vaakapakkauslinjalla pakataan suuria rullia yksi kerrallaan.

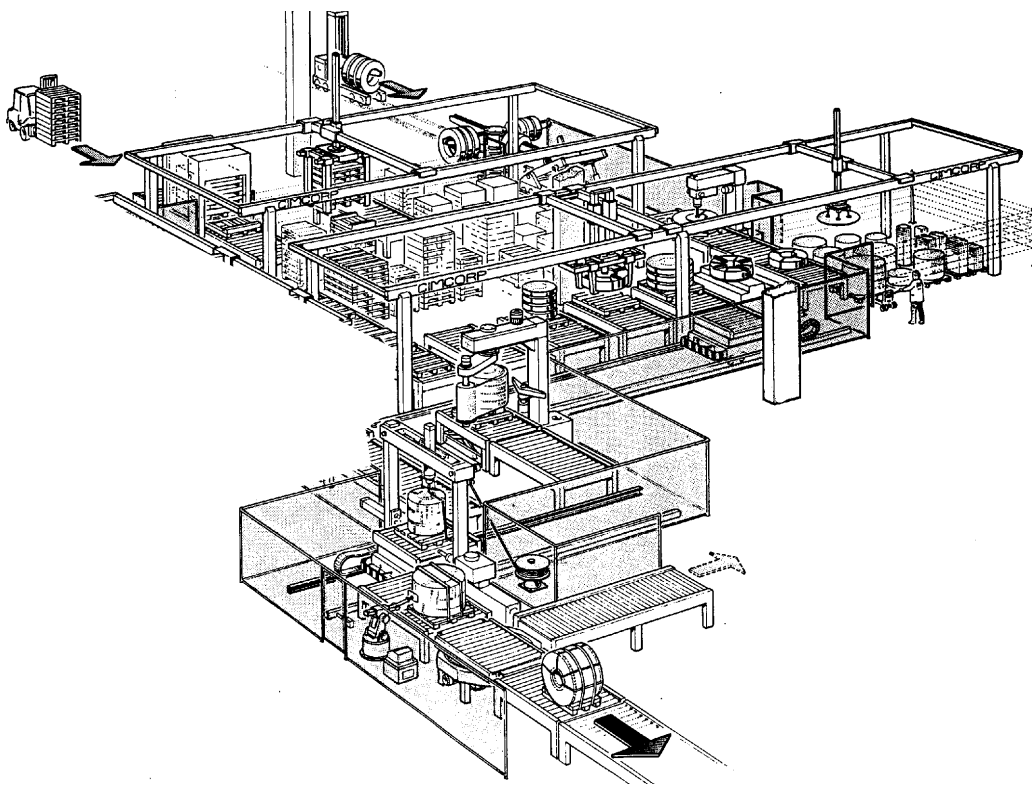
Järjestelmä on jaettu kahdeksaan eri turva-alueeseen, jotka on rajattu aidoilla:

1. Pystypakkausrullien tulo järjestelmään
2. Päätylappujen, välikeppien laitto ja vannetus
3. Rullien käärintä
4. Vaakapakkausrullien ja niiden pakkausmateriaalin tulo järjestelmään, käärintä
5. Vaakapakkausrullien vannetus
6. Rullien siirto etikettirobotille
7. Etikettiroboti
8. Lavojen tulo järjestelmään.

Pakkausjärjestelmä on lähes kokonaisuudessaan aidattu. Kulkuaukoissa on valokennoja, portteja ja induktiosilmukoita. Turva-alueelta pääsy toiselle on estetty valokennoilla. Järjestelmän sisällä ei ole työpisteitä. Turva-alue pysäytetään tuotantopysäytyksellä tai vaikutettaessa turvalaitteeseen.

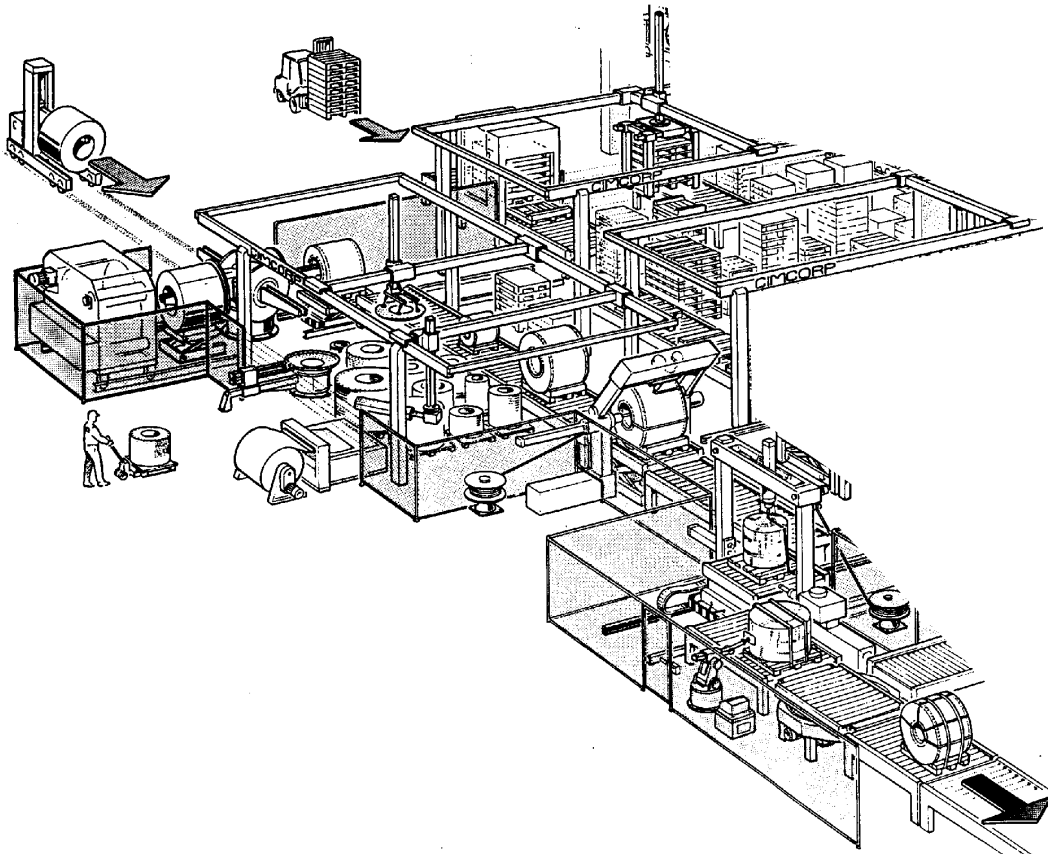
Hätäpysäytyspainikkeen aktivoiminen pysäyttää koko järjestelmän. Rullien siirtyminen turva-alueelta toiselle tapahtuu ohittamalla turva-alueiden väliset valokennot ohjelmallisesti. Tavallisesti pysäytyksessä käytetään pysäytyspyyntöä (tuotantopysäytystä).

Kuva 46 esittää pystypakkauslinjaa. Pystypakkauslinjalla rainat tuodaan aluksi vihivaunulla kääntöristille (kuvassa keskellä ylhäällä). Siirtovaunu, jossa on nouseva lava, hakee rainan yksi kerrallaan ja vie sen vannetuskoneelle. Vannetuskoneelta raina siirtyy kuljetinta pitkin eteenpäin ja robotti 1 vie rainan välilaskupaikalle, jossa toinen robotti laittaa siihen välikepit. Tämän jälkeen robotti 1 vie rainan lavan päälle, jonne on jo valmiiksi toinen robotti vienyt alapahvin. Rainoja kerätään lavan päälle haluttu määrä ja sen jälkeen robotti tuo siihen päällyspahvin viimeiseksi. Pakkauspisteitä on neljä kappaletta. Tämän jälkeen rainat viedään siirtovaunulla käärintäkoneelle, josta matka jatkuu toisella siirtovaunulla vannetuskoneelle, jossa lava sidotaan rainoihin. Tämän jälkeen paketti siirtyy etikettitiroille. Lavat, joiden päälle rainat pakataan, tuodaan trukilla kuljettimelle, josta robotti vie ne lavavarastoon. Lavavarastosta robotti hakee lavoja pakkauspaikalle. Lavat keskitetään tarkasti robotin avulla.



Kuva 46. Pystypakkauslinja. Rullien ja pakkausmateriaalin saapuminen järjestelmään ja rullien pakkaaminen.

Kuva 47 esittää vaakapakkauslinjaa. Vaakapakkauslinjalla teräsrullat tuodaan aluksi vihivaunulla kääntöristille (kuvassa vasemmalla ylhäällä). Ensin siihen laitetaan toinen päätylappu. Tämän jälkeen se lasketaan alas siirtovaunulle ja siihen laitetaan toinen päätylappu. Sitten rulla menee käärintäkoneelle. Tämän jälkeen siihen laitetaan sisäsuojus. Tämän jälkeen rulla siirtyy kuljetinta pitkin vannetuskoneelle, jossa lava kiinnitetään rullaan. Sitten rulla viedään siirtovaunulla etikettikoneelle, joka on yhteinen vaakapakkauslinjan kanssa.



Kuva 47. Vaakapakkauslinja. Rullien ja pakkausmateriaalin saapuminen järjestelmään ja rullien pakkaaminen.

Järjestelmän vaaratekijät ovat automaatiojärjestelmän sisällä olevat koneet. Tämän vuoksi on kiinnitetty huomiota rajapintoihin, joista pääsee järjestelmään. Kohdissa, jossa rullat tulevat pakkauslinjoille, käytetään valoverhoa ja passivoimiseen induktiosilmukkaa. Luvaton kulku lavavarastoon on estetty induktiosilmukalla, portilla ja valoverholla. Kun trukki tuo tyhjiä lavoja lavavaraston kuljettimelle, trukki ilmaistaan induktiosilmukalla, portti aukeaa automaattisesti ja trukki voi ohittaa valoverhon. Ihminen ei pääse sisälle lavavarastoon sitä pysäyttämättä. Kohdissa, jossa pakkausmateriaali tuodaan järjestelmään, luvaton kulku on estetty valoverholla. Robotti pysähtyy, jos valoverhoon vaikutetaan. Koko alueella porteissa on sähkölukko, joka avautuu pysäytyspyynnön yhteydessä.

7. YHTEENVETO

Nykyään rakennetaan yhä laajempia automaatiojärjestelmiä. Koneet liitetään toisiinsa ja tuotteet liikkuvat koneelta toiselle kuljettimilla tai siirtovaunuilla. Laajoissa järjestelmissä kaikki vaikuttaa kaikkeen, sillä ihmisten hoitamia tuotantopuskureita on yhä vähemmän. Turvallisuuskkin pyritään sitomaan tuotantoon siten, että ihmisen normaali toiminta rajoittaa ainoastaan ihmisen työkohteena (esim. huolto, korjaus tai häiriönpoisto) olevan alueen toimintaa, kun taas suora ryntäily järjestelmään aiheuttaa laajemman hätäpysäytyksen. Tuotantojärjestelmä rajataan tavallisesti aidalla ja kulkutiet hoidetaan erikseen. Ihminen kulkee järjestelmään esim. portista tai valokennojen läpi mielellään vasta sitten, kun kulkuaukon takana oleva järjestelmän osa on pysäytetty hallitusti. Tuotteet ja vihivaunut pääsevät järjestelmään valvotusta kulkuaukosta, josta ihminen ei pääse järjestelmän huomaamatta sisään.

Automaatiojärjestelmän kulkuaukon valvontaan tai ihmisen luvattoman alueellepääsyn rajoittamiseen käytettyjä menetelmiä esitetään taulukossa 4. Useimmissa tapauksissa lavan tullessa kulkuaukkoon pyritään passivoimaan varsinaista turva-anturia, mutta myös muita keinoja on olemassa. Menetelmien tarkempia kuvauksia ja kuvia on luvussa 5. Menetelmien luotettavuus on erilainen ja menetelmän valinta edellyttääkin riskin arviointia. Jos riskit ovat vähäiset, voidaan luottaa esim. kuljettimen vaikeakulkuisuuteen tai lavojen muodostamaan esteeseen, kun taas kriittisemmissä kohteissa tarvitaan antureita. Menetelmiä on mahdollista myös yhdistää paremman ja varmemman toiminnan saavuttamiseksi. Esim. korkealle sijoitettu rullakuljetin ja passiivinen infrapunailmaisoin yhdessä tekevät luvattoman alueellepääsyn hankalaksi. Käytettäessä antureita varsinaisen turvatoiminnan tekee esim. kulkuaukkoon sijoitettu turvavaloverho. Tarkoitus on, että ihmiset näkevät passivoivat valokennot ja huomaavat, että huijaaminen on vaikeaa, ja edes siksi käyttävät luvallista reittiä. Jos kulkuaukkoja on paljon, tulee turvajärjestelmä kalliiksi. Tämän vuoksi kannattaa jo suunnittelussa rajoittaa kulkuaukkojen lukumäärä tarkoituksenmukaiseksi.

Taulukko 4. Koneautomaatiojärjestelmän kulkuaukon valvontaan käytettyjä menetelmiä.

Menetelmä	Tarvittavat laitteet	Kuvaus
Ristikkäin asennetut valokennot passivoivat turvavalokennot (kuvat 25 ja 26)	– turvavalokennot – 2 X valokenno	Kun lava osuu yhtä aikaa passivoiviin valokennoihin, turvavalokennot passivoidaan.
Vinottain asetetut valokennot (kuvat 27 ja 28)	– - ” -	- ” -

Menetelmä	Tarvittavat laitteet	Kuvaus
Anturein toteutettu passivointi vierekkäisillä (päällekkäisillä) antureilla (kuva 29)	<ul style="list-style-type: none"> – turvavalokennot – 4 X anturi (esim. induktiivinen lähestymiskytkin, ultraäänianturi, optinen lähestymiskytkin, valokenno) 	Passivointi alkaa, kun kaksi lähestymiskytkintä havaitsee lavan yhtäaikaan ja passivointi päättyy, kun toiset kaksi lähestymiskytkintä eivät enää havaitse lavaa.
Anturein toteutettu passivointi peräkkäisillä antureilla (kuva 30)	– - ” -	Passivointi alkaa, kun anturit vaikuttavat oikeassa järjestyksessä. Lavan kulkusuuntaa voidaan hyödyntää varmistuksessa.
Dynaaminen lavan havaitseminen valokennoilla (kuva 31)	– 3 X (turva)valokenno	Passivointi hyväksytään, jos anturit vaikuttavat oikeassa järjestyksessä sisältäpäin alkaen. Menetelmää voidaan käyttää ainoastaan poistuvien lavojen valvonnassa.
Vaunuun tai lavaan asennetun peilin tai saattomuistin käyttö passivoinnissa (kuva 32)	<ul style="list-style-type: none"> – turvavalokennot – 4 X tunnistin (saattomuistin lukulaite, induktiivinen lähestymiskytkin tai valokenno) – tunnistettava osa jokaiseen trukkiin tai lavaan (saattomuisti, peili, rautalevy) 	Passivointi hyväksytään, kun tunnistettava osa havaitaan.
Trukki tai vihivaunu tunnistetaan induktiivisilla silmukoilla (kuva 33)	<ul style="list-style-type: none"> – turvavalokennot – induktiiviset silmukat (anturit) 	
Passivoinnin toteuttaminen ohjelmatiedon ja anturin perusteella (kuva 34)	<ul style="list-style-type: none"> – turvavalokennot – anturi (valokenno, lähestymiskytkin, ultraäänianturi tms.) – tieto saapuvasta lavasta ohjausjärjestelmältä 	Passivointi hyväksytään, kun ohjausjärjestelmä ilmoittaa lavan olevan tulossa ja anturilla vahvistetaan tieto.

Menetelmä	Tarvittavat laitteet	Kuvaus
Kulkuaukon varmistaminen passiivisella infrapunailmaisimella (kuva 36)	<ul style="list-style-type: none"> – ohjausjärjestelmä osaa pitää lavan aina kulkuaukossa tai turvallisuus varmistetaan muilla keinoin – 2 X passiivinen infrapunailmaisin 	Passiiviset infrapunailmaisimet varmistavat muulla keinolla tavoiteltua turvallisuutta. Tässä tapauksessa lava pysähtyy kulkuaukolle, kunnes seuraava lava tulee tilalle. Passiivinen infrapunailmaisin varmistaa, ettei ihminen yritä päästä lavojen välistä järjestelmään. Passiivisia infrapunailmaisimia voidaan käyttää myös varmistamaan esim. ristikkäin olevia valokennoja.
Toimilaitteella ohjattu suojus (kuva 37)	<ul style="list-style-type: none"> – ohjattu suojus – portin avaavat anturit 	Portin avaaminen sallitaan, jos anturit vaikuttavat yhtä aikaa.
Jousella palautuva lukittu portti	<ul style="list-style-type: none"> – portti, joka aukeaa ainoastaan ulospäin – portin lukinta – portin avausmenetelmä (anturi tai mekaaninen) 	Menetelmää voidaan käyttää ainoastaan poistuvan lavan valvontaan.
Toisiinsa kytketyt portit (kuva 44)	<ul style="list-style-type: none"> – portit – portin avaavat anturit tai tieto ohjausjärjestelmästä 	Menetelmässä toinen portti on aina kiinni ja toinen on auki.
Korkealle sijoitettu kuljetin (kuva 38)	<ul style="list-style-type: none"> – korkealle (>1 m) sijoitettu rullakuljetin 	Sijoitetaan rullakuljetin niin korkealle, että ihmisen on vaikea päästä sitä pitkin järjestelmään.
Matala kulkuaukko (kuva 39)	<ul style="list-style-type: none"> – Rajataan aidalla kulkuaukon korkeus (rullakuljettimella 500 mm). 	Järjestetään niin matala kulkuaukko, että ihminen ei mahdu siitä sisään.
Rullakuljettimessa pitkät rullien välit	<ul style="list-style-type: none"> – vaikeakulkuinen rullakuljetin 	Järjestetään rullien väli niin pitkäksi (>120 mm), että niitä pitkin on vaikea

Menetelmä	Tarvittavat laitteet	Kuvaus
		kävellä ja toisaalta rullien väli tehdään vaikeaksi. astua.
Käytetään lavoja kulkuaukon peittämiseen	– lavat peittävät kulkuaukon	Järjestetään portin kohdalle tuotepuskuri, jossa on aina yksi täysi lava. Alkutilanteessa aukko täytetään käsiajolla.

Laajojen koneautomaatiojärjestelmien suunnittelussa pitää kiinnittää huomiota myös ohjausjärjestelmän luotettavuuteen, turvallisuuteen ja helppoon toimintojen rajaamiseen. Järjestelmä pitää jakaa sopiviin kokonaisuuksiin, jotka pystytään erikseen pysäyttämään ja hätäpysäyttämään. Ihmisen vaikuttaessa yhteen turva-anturiin yleensä pysäytetään alue, johon ihminen menee, ja aktivoidaan seuraavalle alueelle pääsyä rajoittava anturi. Järjestelmän sisällä olevat anturit saattavat vaikuttaa useaan pysäytysalueeseen.

Hätäpysäytyksessä käytetään yleensä turvarelepaketteja, jotka pystyvät sisäisesti valvomaan omaa toimintakuntoaan ja ulkoisten kytkentöjen avulla myös muiden releiden toimintakuntoa. Hätäpysäytyksessä katkaistaan virrat toimilaitteilta, joten sen toteuttaminen on suoraviivaista. Laajoissa järjestelmissä voidaan nykyään käyttää turvarelepakettien sijaan myös turvalogiikkoja, jos niiden käyttö pystytään perustelemaan. Tuotantopysäytyksessä ajetaan järjestelmä nopeasti sellaiseen tilaan, josta toiminnan jatkaminen on sujuvaa. Ihmisen mennessä järjestelmään myös tässä tapauksessa katkaistaan lopulta käyttöjännitteet toimilaitteilta.

LÄHDELUETTELO

Anon. 1997. Koneturvallisuus. Säädökset ja soveltaminen. Työsuojeluhallinto, Tampere. 120 s.

Kleinbreuer, W. 1997. Maschinen und Gerätesicherheit. HVBG, BIA-Report 4/97. 241 s. + liitt. 49 s. ISBN 3-88383-449-1

Kleinbreuer, W., Kreuzkamp, F., Meffert, K. ja Reinert, D. 1997. Kategorien für sicherheitsbezogene Steuerungen nach EN 954-1. HVBG, BIA-Report 6/97. 173 s. + liitt. 49 s. ISBN 3-88383-445-9

IEC 61508 parts 1-7. 1997. (draft) Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems.

ISO 11161. 1993. Industrial automation systems - Safety of integrated manufacturing systems - Basic requirements. Final draft version. ISO. 18 s.

Konepäättös 1994. Valtioneuvoston päätös koneiden turvallisuudesta. N:o 1314. 21.12.1994. S. 3841 - 3877.

Malm, T. 1996. Koneturvallisuus. Turvalaitteiden valinta ja asentaminen. Tapaturmavakuutuslaitosten liitto, Helsinki ja Työministeriö, Tampere. 23 s.

Malm, T. 1998. Safety for large automation systems. 2nd Tampere international conference on machine automation ICMA '98. September 15 - 18, 1998, Tampere. S. 839 - 848.

MET. 1993. EMC-direktiivin soveltaminen. Sähkö- ja elektroniikkateollisuusliitto, Metalliteollisuuden Keskusliitto, Integraatitiedote 23. 39 s. + liitt. 45 s.

MET. 1997. Konedirektiivin soveltaminen ja kansallinen lainsäädäntö. Neljäs painos. Metalliteollisuuden Keskusliitto, MET Integraatitiedote 24, 4. uudistettu painos. 120 s. ISBN 951-817-667-1

Pneumatic presses - Safety 1995. CEN/TC 143 standardiluonnos. 31 s.

prEN 619 1996. Continuous handling equipment and systems. Equipment for mechanical handling of unit loads - Special safety requirements for design, manufacturing erection and commissioning stages. CEN/TC 148/WG 2, Final draft. 50 s.

prEN 999 1998. Safety of machinery - The positioning of protective equipment in respect of approach speeds of parts of the human body. CEN/TC 114. 19 s.

prEN 1760-2 1996. Safety of machinery - Pressure sensitive protective devices - Part 2: General principles for design and testing of pressure sensitive edges and pressure sensitive bars. CEN/TC 114. 51 s.

prEN 1760-3 1996. Safety of machinery - Pressure sensitive protective devices - Part 2: General principles for design and testing of pressure sensitive bumpers for vehicles. CEN/TC 114. 46 s.

SFS-EN 292-1. 1992. Koneturvallisuus. Perusteet ja yleiset suunnitteluperiaatteet. Osa 1: Peruskäsitteet ja menetelmät. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto. Yhdenmukaistettu OJ No C 157, 24.6.92. 37 s.

SFS-EN 292-2. 1992. Koneturvallisuus. Perusteet ja yleiset suunnitteluperiaatteet. Osa 2: Tekniset periaatteet ja spesifikaatiot. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto. Yhdenmukaistettu OJ No C 157, 24.6.92. 73 s.

SFS-EN 294. 1993. Koneturvallisuus. Turvaetäisyydet, joilla estetään yläraajojen ulottuminen vaaravyöhykkeelle. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto. Yhdenmukaistettu OJ No C 229, 25.8.93. 15 s.

SFS - EN 349. 1993. Koneturvallisuus. Vähimmäisetäisyydet kehon osien puristumisvaaran välttämiseksi. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto. Yhdenmukaistettu OJ No C 229, 25.8.93. 8 s.

SFS - EN 415-4. 1997. Pakkauskoneet. Turvallisuus. Osa 4: Lavakuorman teko- ja purkulaitteet. Suomen standardisoimisliitto. 47 s.

SFS-EN 418. 1993. Koneturvallisuus. Häätäpysäytyslaitteisto, toiminnalliset näkökohdat. Suunnitteluperiaatteet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto. Yhdenmukaistettu OJ No C 229, 25.8.93. 13 s.

SFS-EN 457. 1993. Koneturvallisuus. Kuuloon perustuvat vaarasignaalit. Yleiset vaatimukset, suunnittelu ja testaus. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto. Yhdenmukaistettu 25 s.

SFS-EN 528. 1996. Hyllystöhissit. Turvallisuus. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto. Yhdenmukaistettu OJ No C 359, 28.11.96. 64 s.

SFS-EN 775. 1993. Teollisuusrobotit. Turvallisuus. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto. Yhdenmukaistettu OJ No C 229, 25.8.93. 24 s.

SFS-EN 811. 1996. Koneturvallisuus. Turvaetäisyydet, joilla estetään alaraajojen ulottuminen vaaravyöhykkeelle. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto. Yhdenmukaistettu OJ No C 141, 97.05.08. 14 s.

SFS-EN 953. 1998. Koneturvallisuus. Suojukset. Kiinteiden ja avattavien suojusten suunnittelun ja rakenteen yleiset periaatteet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto. Yhdenmukaistettu OJ No C 78, 98.03.13. 37 s.

SFS-EN 954 - 1. 1996. Koneturvallisuus. Turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmien osat. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto. Yhdenmukaistettu OJ No C 141, 97.05.08. 64 s.

SFS-EN 1037. 1996. Koneturvallisuus. Odottamattoman käynnistyksen estäminen. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto. Yhdenmukaistettu OJ No C 306, 15.10.96. 32 s.

SFS-EN 1050. 1997. Koneturvallisuus. Riskin arvioinnin periaatteet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto. Yhdenmukaistettu OJ No C 322, 97.10.23 C 306, 15.10.96. 41 s.

SFS-EN 1088. 1996. Koneturvallisuus. Suojusten kytkentä koneen toimintaan. Suunnittelu ja valinta. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto. Yhdenmukaistettu OJ No C 306, 15.10.96. 60 s.

SFS-EN 60204-1. 1993. Koneturvallisuus. Koneiden sähkölaitteet. Osa 1: Yleiset vaatimukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto. Yhdenmukaistettu 27.7.1994. 212 s.

SFS-EN 60310 osat 1 ja 2 1993. Koneturvallisuus. Merkinantaminen, merkitseminen ja vaikuttaminen.