

Pneumatiikalla toteutetun kappaletavara-automaation turvallisuus

Timo Malm & Jorma Järvenpää

VTT Valmistustekniikka



ISBN 951-38-5187-7
ISSN 1235-0605

ISBN 951-38-5188-5 (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

Tekninen toimitus Leena Ukskoski

LIBELLA PAINOPALVELU OY, ESPOO 1998

Malm, Timo & Järvenpää, Jorma. Pneumatiikalla toteutetun kappaletavara-automaation turvallisuus [Safety of pneumatic manufacturing automation]. Espoo 1998, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1886. 49 s. + liitt. 23 s.

UDK 681.523.5:331.45

Avainsanat pneumatic equipment, accident prevention, safety engineering, occupational safety

TIIVISTELMÄ

Pneumaattisilla laitteilla sattuneiden tapaturmien määrä on lisääntynyt 1980-luvun alun jälkeen. 1990-luvulla vuosittaiset tapaturmamäärät ovat vaihdelleet. Tapaturmia tutkimalla ja analysoimalla voitiin selvittää niiden syitä sekä sitä, millaisissa työtilanteissa niitä on sattunut.

Julkaisussa selvitetään pneumatiikalla toteutetun automaation turvallisuutta tapaturmatutkimuksen, haastattelututkimuksen ja kirjallisuustutkimuksen avulla. Tapaturmatutkimuksessa selvitettiin tapaturmien syitä ja sattumistilanteita tapaturmatutkimuksen, haastattelututkimuksen ja kirjallisuustutkimuksen avulla. Suurin osa tapaturmista oli sattunut erikoistilanteissa, kuten häiriönpoistossa. Normaalin tuotannon aikana oli sattunut vain n. 11 % tapaturmista. Odottamaton koneen käynnistyminen oli vaikuttavana tekijänä joka toisessa tapauksessa. Merkittävänä tekijänä oli myös puutteellinen suojaus. Kaikissa tutkituissa tapauksissa tapaturmaan oli useita syitä, joista yhdenkin merkittävän syyn poistamisella tapaturma olisi vältetty.

Haastattelututkimuksessa kerättiin käyttäjiltä ja kunnossapidosta vastaavilta henkilöiltä tietoa heidän ongelmallisiksi kokemistaan asioista, jotka liittyvät pneumatiikan luotettavuuteen ja turvallisuuteen. Kirjallisuudesta, artikkeleista ja standardeista etsittiin pneumatiikan turvallisuuteen ja luotettavuuteen liittyvää tietoa. Kerättyjen taustatietojen ja ennen kaikkea komponenttien toimittajien ja soveltajien kanssa käytyjen keskustelujen pohjalta suunniteltiin tarkastuslista turvallisen paineilmalla toimivan automaattisen laitteen suunnitteluun. Samassa yhteydessä laadittiin esimerkkikaavioita turvallisista pneumatiikkapiireistä.

Osassa esimerkeistä keskityttiin ohjausjärjestelmien turvallisuutta käsittelevän standardin SFS-EN 954-1 luokkiin ja siihen, mitä ominaisuuksia kunkin luokan ohjausjärjestelmältä vaaditaan. Lisäksi yhdelle esimerkkipiirille on tehty vika- ja vaikutusanalyysi, jonka avulla voidaan osoittaa piirin turvallinen toiminta erilaisissa komponenttien vikatilanteissa. Komponenttitoimittajilta saatiin tietoa turvallisuuteen liittyvistä komponenteista, ja näitä tietoja kerättiin esimerkkeihin. Komponenttien kytkentää ja toimintaa erityisesti pysäytys- ja käynnistystilanteissa selvitetään yksiskohtaisesti esimerkkien yhteydessä.

Malm, Timo & Järvenpää, Jorma. Pneumatiikalla toteutetun kappaletavara-automaation turvallisuus [Safety of pneumatic manufacturing automation]. Espoo 1998, Technical Research Centre of Finland, VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1886. 49 p. + app. 23 p.

UDC 681.523.5:331.45

Keywords pneumatic equipment, accident prevention, safety engineering, occupational safety

ABSTRACT

The amount of accidents caused by pneumatic actuators has increased since the beginning of the 1980's. In the 1990's, the annual accident rate has been irregular. By studying and analysing the accidents, it has been possible to determine the reasons for the accidents and the situations in which they occurred.

In this report, the safety of pneumatic automation was investigated with the aid of accident studies, interview studies, and literature studies. From the accident studies, most accidents occur during repairing or disturbance elimination periods. Only 11 % of the accidents occurred during normal production and about 50 % of the accidents were due to unexpected start-up. Another important cause of accidents has been inadequate safeguarding. In all cases, several factors were determined to have caused the accident.

In the interview studies, operators and maintenance executives were interviewed. Their experiences concerning safety and reliability problems caused by pneumatic automation were collected, together with information from the literature and standards. A check-list based on the background information and interviews with designers and component dealers was then compiled. Also, examples of safe pneumatic circuits were designed.

The pneumatic circuit examples show which factors are important when designing a control system according to the categories of standard EN-954. A failure, mode, and effects analysis (FMEA) was done for one example and it shows how the circuit operates in fault conditions. In all examples, the reasons for each solution, and especially the operation in stopping and starting situations, are explained.

ALKUSANAT

Tähän julkaisuun on kerätty ”Pneumatiikalla toteutetun kappaletavaratuotannon turvallisuus” -tutkimuksen tuloksia. Hankkeeseen ovat osallistuneet VTT Valmistustekniikan tutkimusyksiköstä Timo Malm ja Jorma Järvenpää, Erkki Mustalahti Berendsen PMC Oy Ab:stä, Veikko Nuortio ja Raimo Nieminen Cimcorp Oy:stä, Jarmo Hakala Festo Oy:stä, Pekka Soini (Heikki Marttunen) Fidaco Logistics Oy:stä, Jari Paavola Oy M. Haloila Ab:stä, Pekka Virtanen Jomet Oy:stä, Juha Murtomäki Lillbacka Oy:stä ja Jan Carlsson Rexroth Mecman Oy:stä. Lisäksi hankkeen eteenpäinviemisessä on auttanut suuri joukko ihmisiä eri yrityksistä. Kiitämme hankkeeseen osallistuneita yhteistyöstä ja avusta. Hankkeen päärahoittaja on ollut Työsuojelurahasto.

Tämä raportti on julkaistu Työsuojelurahaston avustuksella.

Tampereella 5.12.1997

Tekijät

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKUSANAT	5
SISÄLLYSLUETTELO	6
1 JOHDANTO	7
2 KONEIDEN TURVALLISUUS	8
2.1 YLEISIÄ VAATIMUKSIA	8
2.2 KONEEN TURVALLISUUSSUUNNITTELU	9
3 PNEUMATIIKAN TURVALLISUUS	15
3.1 PAINEILMASYLINTERIN AIHEUTTAMAT TAPATURMAT	15
3.2 TIETOA KÄYTTÄJILTÄ JA KIRJALLISUUDESTA	22
3.3 PAINEILMAN TURVALLISUUTEEN VAIKUTTAVIA TEKIJÖITÄ	23
4 STANDARDIN EN 954-1 LUOKAT	29
4.1 LAITTEEN TOIMINTA	29
4.2 ESIMERKIT	33
4.2.1 Luokan B mukainen pneumaattinen ohjausjärjestelmä	33
4.2.2 Luokan 1 mukainen pneumaattinen ohjausjärjestelmä	33
4.2.3 Luokan 2 mukainen pneumaattinen ohjausjärjestelmä	36
4.2.4 Luokan 3 mukainen pneumaattinen ohjausjärjestelmä	36
4.2.5 Luokan 4 mukainen pneumaattinen ohjausjärjestelmä	38
4.3 ESIMERKKEJÄ PYSÄYTYSTAVOISTA	39
5 PÄÄTELMÄ	45
LÄHDELUETTELO	47
LIITE A Tarkastuslista pneumatiikkajärjestelmien turvallisuussuunnitteluun	
LIITE B Haastattelututkimuksen tulokset	
LIITE C Esimerkkipiirin vika- ja vaikutusanalyysi	

1 JOHDANTO

Paineilman käyttö automaattisten kappaletavaran käsittelyjärjestelmien käyttövoimana on yleistynyt koko ajan siirryttäessä manuaalisesta kokoonpanosta tai pakkaamisesta automaattiseen. Moderneissa automaateissa liikkeet toteutetaan käyttäen hyväksi useita erilaisia toimilaitteita sen mukaan, mikä kuhunkin toimintoon sopii parhaiten. Paineilman etuja muihin tekniikkoihin nähden ovat suuri voima, helppo ohjaus, helppo nopeuden ja voiman säätö, yksinkertainen rakenne, edullinen hinta, turvallisuus räjähdysvaarallisissa tiloissa, puhtaus ja ylikuormituksen sieto. [Hulkkonen 1988, Pneumatiikan perusteet 1979]

Paineilman käytöstä syntyy henkilöturvallisuuteen liittyviä riskitekijöitä, koska paineilmalla käsitellään usein suuria massoja, liikenopeudet ovat usein suuria ja paine ilman varastointi mahdollistaa liikkeitä, vaikka paine ilman syöttö olisi katkaistu. Pneumatiikka ei ole sen vaarallisempaa kuin muutkaan tekniikat, mutta monet sen käytön edut johtavat tekniikan käyttöön kriittisissä kohteissa. Esim. suuri voima, nopeus ja käyttö räjähdysvaarallisissa tiloissa ovat tällaisia tekijöitä, mutta myös toimilaitteiden edullisuus ja yksinkertaisuus voivat johtaa kriittisiin kohteisiin, koska jos toimilaitte on edullinen, niin (turvallisuus) suunnitteluunkaan ei välttämättä haluta sijoittaa niin paljon kuin kalliimmissa toimilaitteissa.

Tässä tutkimuksessa etsittiin pneumatiikalla toteutetun automaation vaara- ja ongelmatilanteita. Vaaratilanteita, ongelmia ja kehitystarpeita kyseltiin käyttäjiltä. Tämän jälkeen samat kysymykset käyttäjien vastauksineen annettiin suunnittelijoille (projektiin osallistuneista yrityksistä), jotka pystyivät yleistämään havaintoja ja antamaan vastauksia käyttäjien ongelmiin. Myös komponenttitoimittajilta saatiin kommentteja kysymyksiin ja vastauksiin.

Paineilmasyylinterin automaattisen liikkeen aiheuttamia vakavia tapaturmia kerättiin Tapaturmaselostusrekisteristä (TAPS). Tapaturmat luokiteltiin ja niille etsittiin tavallisimpia syitä ja tilanteita sekä selvitettiin, minkä tekijöiden vaikutus on ollut muuttumassa.

Ohjausjärjestelmän vika saattaa joissain järjestelmissä aiheuttaa vaaratilanteen. Ohjausjärjestelmiin liittyviä vaatimuksia ja luokittelua (liittyen lähinnä toimintaan vika tilanteissa tai luotettavuuteen) on esitetty standardissa SFS - EN 954-1 [SFS - EN 954-1 1996]. Standardin SFS - EN 954-1 luokkien mukaisia esimerkkejä on esitetty aiemmin Saksassa. Tässä hankkeessa kehitettiin esimerkkejä käyttäen tavallisia pneumatiikalla toteutetussa automaatiossa käytettyjä komponentteja.

2 KONEIDEN TURVALLISUUS

2.1 YLEISIÄ VAATIMUKSIA

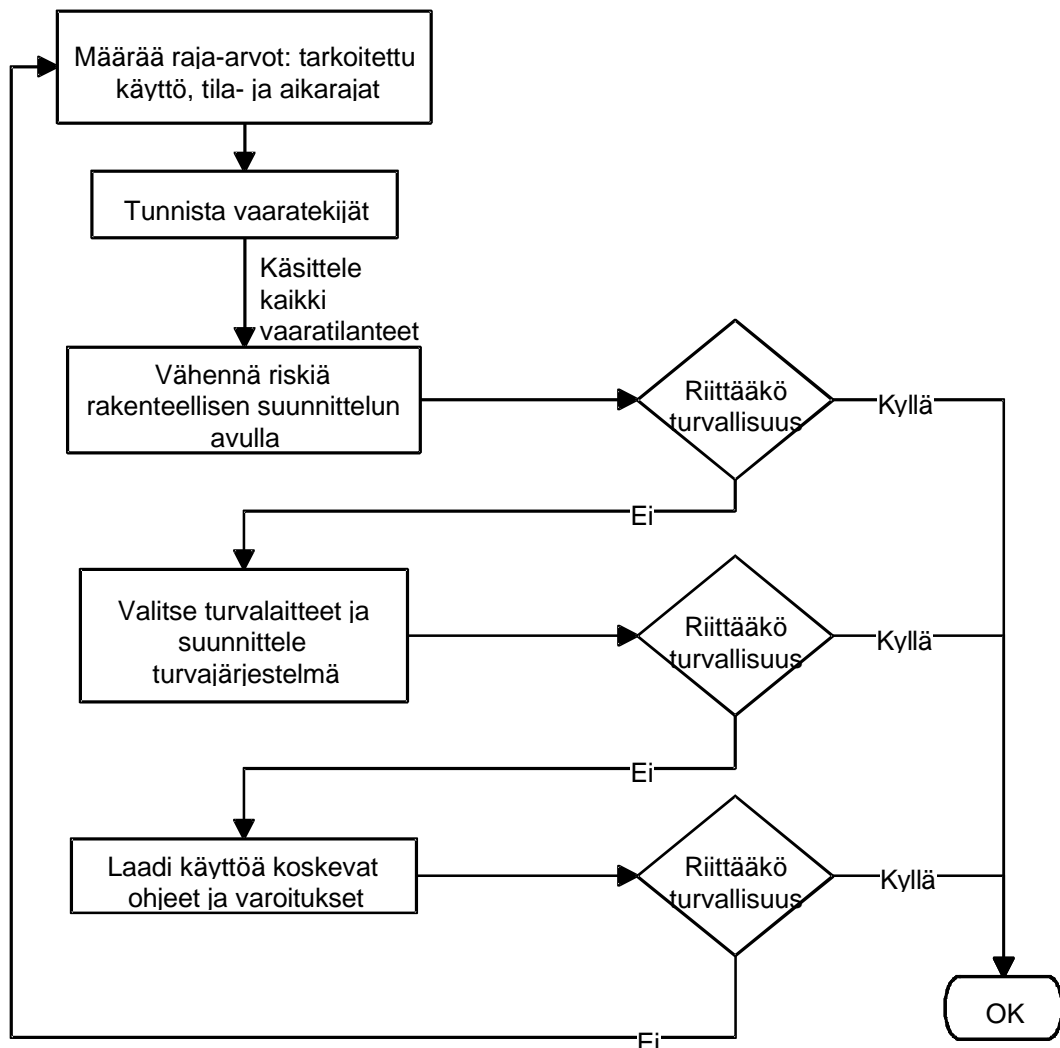
Koneiden markkinoilletuontiin vaikuttavat monet eurooppalaiset direktiivit eli lainsäädäntövelvoitteet. Tärkeimpiä automaatioon liittyviä direktiivejä ovat konedirektiivi (Valtioneuvoston päätös koneiden turvallisuudesta 1314/94 ns. konepäätös), käyttöpäätös (VNp 1403/93) ja EMC-direktiivi (89/336/EEC) [MET 1993]. Konedirektiivi määrittelee turvallisuusvaatimuksia ja toimintatapoja, joilla kone voidaan osoittaa turvalliseksi. Olennaisia turvallisuusvaatimuksia, joita koneen valmistajan tulee noudattaa, tulkitsee pääsääntöisesti valmistaja itse. Jos valmistaja arvioi, että hänen tuotteensa täyttää olennaiset terveys- ja turvallisuusvaatimukset, hän voi kiinnittää tuotteeseensa CE-merkinnän ja saattaa sen markkinoille koko Euroopan talousalueella (ETA). Konedirektiivin liitteessä 4 mainitaan koneet, joiden suhteen tarvitaan lisätoimenpiteitä (esim. tyyppitarkastus) ennen markkinoille saattamista ETA-alueella. CE-merkinnän käyttö osoittaa sen, että valmistaja on ottanut omien arvioidensa mukaan huomioon olennaiset turvallisuusvaatimukset (konedirektiivin liite 1). [Konepäätös 1994, MET 1997]

Yhdenmukaistettuja standardeja (harmonisoituja eli tässä tapauksessa EU:n virallisessa lehdessä ilmoitettuja) on laadittu tarkentamaan konedirektiivin liitteen 1 olennaisia terveys- ja turvallisuusvaatimuksia (olennaisten vaatimusten täyttäminen on tae tuotteiden vapaalle liikkumiselle Euroopan talousalueella). Jos harmonisoitua standardia ei ole, voidaan käyttää muita standardeja tai ohjeita. Nämä eivät kuitenkaan ole tae koneen vapaalle liikkumiselle maasta toiseen. Yhdenmukaistetut standardit ovat ohjeellisia, mutta toisaalta niistä poikkeamiseen tulee olla hyvät perusteet. Konedirektiiviin liittyviä standardeja on ollut valmisteilla vuonna 1996 n. 600 kpl, mutta silti on paljon koneita ja laitteita, joita koskevia standardeja ei vielä ole tulossa. Tällöin pitää tulkita konedirektiivin liitteen 1 vaatimuksia ja käyttää esim. olemassa olevia alaa koskevia standardeja ja muita ohjeita.

Hyvällä suunnittelulla luodaan perusta turvalliselle koneelle. Suunnittelija tuntee tekemiensä komponenttivalintojen ja suunnittelemiensa rakenteiden perusteet. Tämän vuoksi juuri suunnittelijan tulee kirjata valintojensa turvallisuuteen vaikuttavat perusteet ja tehdä riskin arviointi [MET 1993]. 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 §).

2.2 KONEEN TURVALLISUUSSUUNNITTELU

Koneen suunnittelu käsittää (SFS - EN 292 - 1 mukaan) koneen valmistuksen, kuljetuksen, käyttöönoton, käytön, käytöstä poiston ja purun sekä kaikkiin vaiheisiin (paitsi valmistukseen) liittyvien ohjeiden laatimisen. 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]



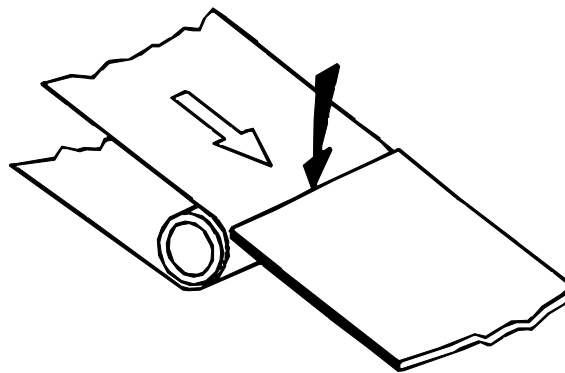
Kuva 1. Turvallisuussuunnittelun tehtävät ja järjestys [Malm 1996].

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.).

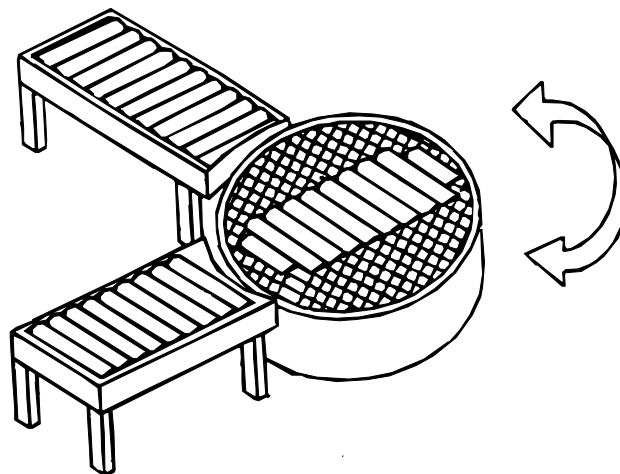
Vaaratekijöiden tunnistamisessa ja riskin arvioinnissa käydään läpi koneen koko elinkaari, kaikki toimitilat (tuotanto, häiriötila jne.) ja mahdollinen väärinkäyttö. Riskin arvioinnissa käytetään apuna vaaratekijälistaa, joka saadaan konekohtaisesta

standardista, konepäätöksestä tai standardeista SFS - EN 1050 tai SFS - EN 983 (pneumatiikka) [SFS-EN 983 1996].

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. Puristumisvälien suuruuksia on mainittu standardissa SFS - EN 349. Esim. kehon puristumisväli on 500 mm. Kuvassa 2 on esimerkki nielun riskien minimoimisesta käyttämällä riittävän pientä rakoa. Kuvassa 3 on vastaavasti esitetty, kuinka leikkautumisvaaraa on minimoitu järjestämällä raot riittävän pieniksi.

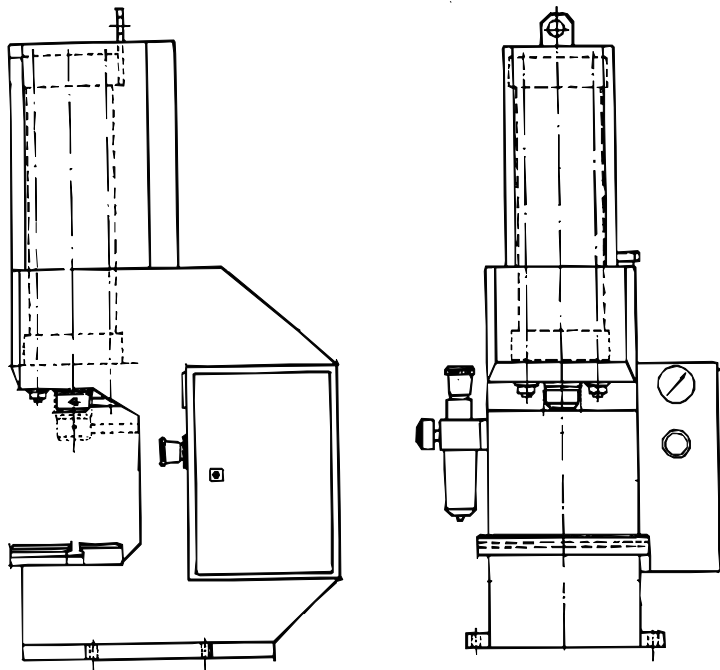


Kuva 2 . Esimerkki tyypillisestä nielusta. Kun nielu mitoitetaan riittävän pieneksi (5 mm), puristumisvaara on mitätön. [prEN 619 1996]



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 hidasta nopeutta puristumisvaaran minimoimiseksi

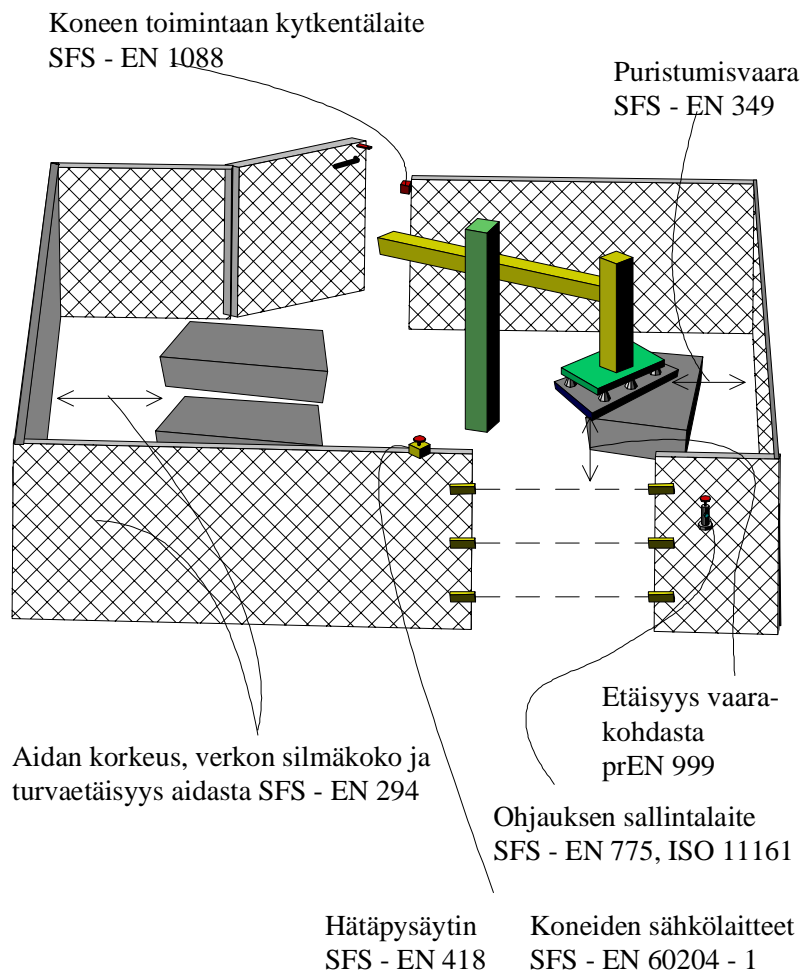


Kuva 4. Esimerkki pneumaattisesta puristimesta. Puristimen asetusajo on turvallista, kun nopeus on alhainen (10 mm/s) ja liikettä hallitaan pakkokäyttöisellä kolmiasentoisella kytkimellä. [Pneumatic presses - Safety 1995]

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

Turvaetäisyys = ihmisen nopeus (kävelynopeus 1600 mm/s) X pysähtymisaika (koneen + turvalaitteen) + ihmisen ulottuvuus.

Esim. kolmisäteisellä valokennolla saadaan turvaetäisyys (0,2 s) = 1600 X 0,2 + 850 = 1170 mm, kun pysähtymisaika on 200 ms [prEN 999 1995]. Aidan ulottuvuus eli turvaetäisyys aidasta vaarakohtaan katsotaan taulukosta. Matalin aita on yleensä 1,4 m (turvaetäisyys 900 mm tai 1100mm vaarasta riippuen), mutta esim. hyllystöhisseiltä edellytetään 2 m korkea aita (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.



Kuva 5. Robottisolun turvalaitteisiin ja suojuksiin liittyviä standardeja.

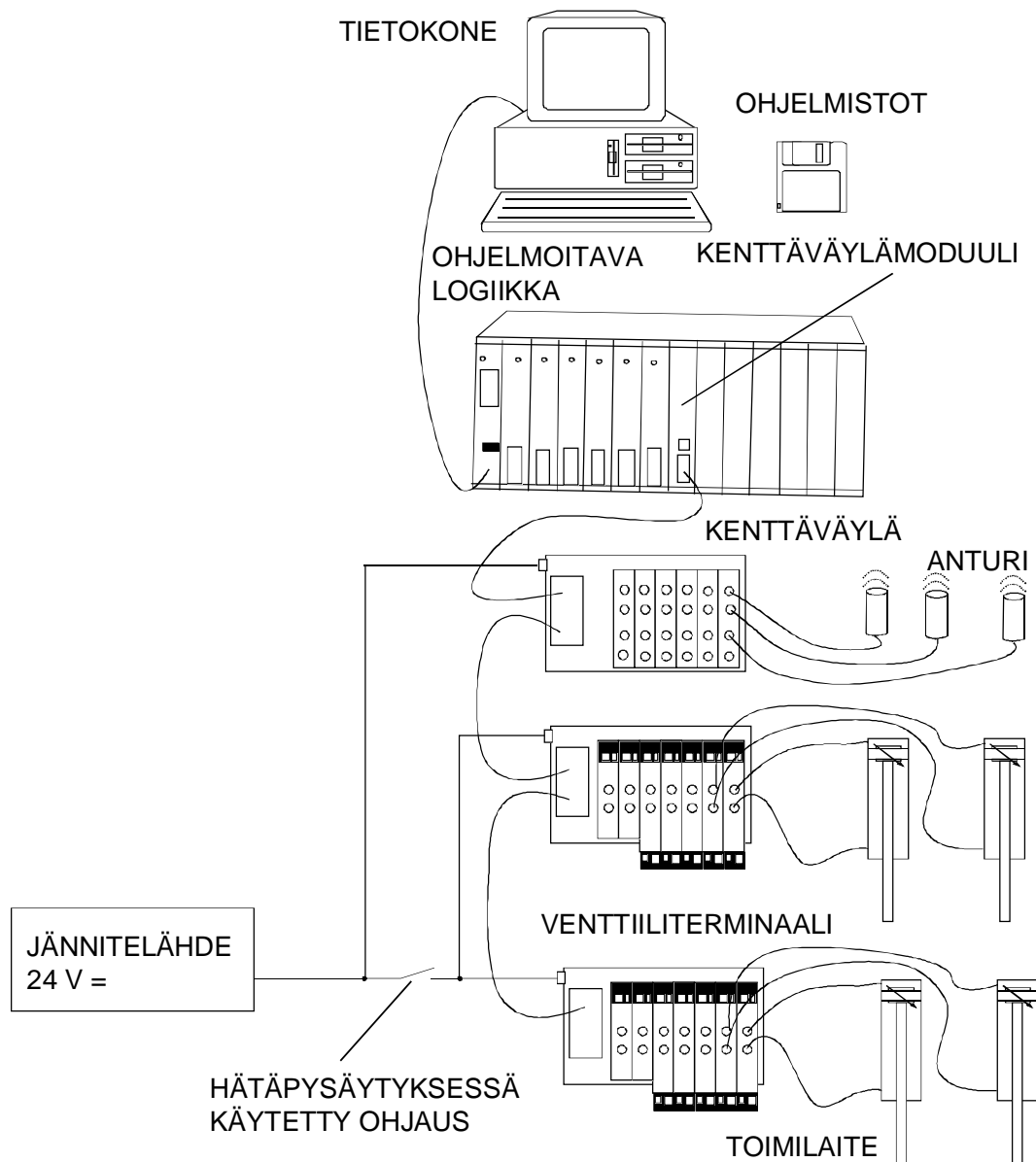
Ihmisen pääsyä vaara-alueelle valvotaan tavallisesti koneen toimintaan kytketyillä suojuksilla [SFS-EN 1088 1996], valokennoilla, valoverhoilla ja tuntomatoilla. Jos valvotaan jatkuvaa ihmisen oloa vaara-alueella, käytetään yleensä tuntomattoja tai valoverhoviuhkaa, joka valvoo ympyrän sektorin muotoista 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 minimoimaan 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]. Tyypillisesti hätäpysäytin on kaikilla ohjauspaikoilla ja esim. kuljettimien vieressä 10 m välein [prEN 619 1996].

Kenttäväylät ovat viime vuosina yleistyneet ja niilläkin pitää voida toteuttaa hätäpysäytys. Hätäpysäytyksessä pitää poistaa kaikki energiat, mitkä turvallisesti voi poistaa. Tämän lisäksi hätäpysäytyssignaali ei saa kulkea (varmistamattoman) ohjelmoitavan laitteen kautta. Toimilaitteelta pitää siis poistaa sähköt, mikä onnistuu esim. katkaisemalla pelkästään toimilaitteiden energiansyöttö tai, jos energiansyöttö on väylää pitkin, erottamalla toimilaitteita sisältävät väylät sähkönsyötöstä. Kuvassa 6 on esimerkki toimilaitteiden erillisen jännitesyötön erottamisesta. Jännitteen erottamisen ei aina tarvitse olla aivan välitöntä, sillä esim. ohjattaessa sähköservomooottoreita tavallisesti pysäytetään ensin servolla ohjattu liike ja sitten vasta katkaistaan servolta jännite, koska pysäytys on tällä menetelmällä paremmin hallinnassa kuin suoralla sähkönsyötön katkaisulla (luokan 1 pysäytys standardin SFS-EN 60204-1 [1993] mukaan).



Kuva 6. Periaatekuva kenttäväylässä toteutetusta hätäpysäytyksestä.

3 PNEUMATIIKAN TURVALLISUUS

3.1 PAINEILMASYLINTERIN AIHEUTTAMAT TAPATURMAT

Työsuojeluhallinnon tapaturmaselostusrekisteristä (TAPS) etsittiin ja luokiteltiin automaattisesti toimivan pneumaattisen sylinterin vuosina 1980 - 1995 aiheuttamia erittäin vakavia tapaturmia (yhteensä 28 kpl). Tapaturmia on sattunut enemmän kuin tilastoon on kerätty, sillä rekisteristä on tilastoon otettu ainoastaan ne tapaukset, joista on kirjoitettu niin paljon tietoa, että ne on pystytty luokittelemaan luotettavasti (ja toisaalta selostuksissa on käytetty etsimiämme sanoja).

Tapaturmista n. 11 % sattui normaalin tuotannon aikana. Vähäinen määrä selittyy sillä, että tuotannon aikana työntekijän tarvitsee puuttua harvoin automaattisen järjestelmän toimintaan ja toisaalta useimmat uudet järjestelmät on jo suojattu melko hyvin turvalaitteilla. Eniten tapaturmia sattuu häiriönpoistotilanteissa (54 %), jolloin koneen käyttäjä havaitsee virheellisen toiminnan ja menee itse poistamaan häiriötä. 36 % tapaturmista sattui korjauksen aikana, jolloin yleensä huoltomies on ollut korjaamassa koneessa ollutta vikaa. Häiriönpoisto on tarkasteluissa arvioitu toimintatilaksi, vaikka siinä on taustalla aina jonkinlainen toimintahäiriö. Jos siis häiriö olisi laskettu tapaturman syyksi, niin se olisi suurin tapaturmien aiheuttaja (54 %). Tapaturmien vuosittainen määrä on 1980-luvun alun jälkeen hieman kasvanut, mutta sen jälkeen vuosittaiset vaihtelut ovat olleet suuria. Tapaturmien suureen määrään on vaikuttanut pneumaattisten toimilaitteiden yleistyminen ja se, että tapaturman vähentämiseen käytetyt keinot ovat kohdistuneet lähinnä tuotantoon ja vain jossain määrin häiriönpoistoon.

Tapaturmien luokittelu on tehty tarkastelemalla selostuksia ja poimimalla yleisimmät selostuksissa mainitut syyt. Tilastoihin on tapaturman syiksi otettu sellaiset tekijät, jotka ovat vaikuttaneet tapaturman syntyyn useassa kohteessa. Tapaturmien syiden luokittelussa on kuhunkin syyhyn laskettu vain ne tapaukset, jotka on selvästi mainittu selostuksessa. Esim. työmenetelmä on laskettu vaaralliseksi vain, jos vaarallisuus on mainittu, tai suojukset on laskettu puutteellisiksi, jos niistä on mainittu. Kaikkiin tapaturmiin on ollut vähintään kaksi syytä. Joitain syitä on todellisuudessa ollut enemmän kuin tilastoihin on kerätty, mutta niitä ei ole mukana, koska niitä ei ole mainittu selostuksissa riittävän selvästi. Toimintamuodot, joiden aikana tapaturma on sattunut, on jaettu kolmeen: tuotantoon, häiriönpoistoon ja korjaukseen. Kukin tapaus on kuulunut yhteen toimintamuotoon. Häiriönpoistoon on laskettu äkilliset häiriöt, joita hoidetaan nopeilla korjaustoimenpiteillä ja häiriönpoistoilla, joita tekee käyttökonehenkilökunta. Korjaukseen kuuluvat pitkäaikaiset huolto- ja korjaustoimenpiteet, joita tekee pääsääntöisesti huoltohenkilökunta. Taulukossa 1 on esimerkkejä eräisiin luokkiin liitettyistä tapauksista.

Taulukko 1. Esimerkkejä sylinterin liikkeen aiheuttamien tapaturmien syistä.

TAPATURMAN SYY	ESIMERKKEJÄ (lukumäärä mainittu kun >1)
Odottamaton käynnistys, sylinterin liike käynnistetään vahingossa tai vaarasta tietämättä	Osui jalkapainikkeeseen (2 X), toinen henkilö käynnisti (2 X), kosketti rajakytkintä (3 X, 1 ei tilastoissa), ?, myöhäinen liike, yhden suojuksen palautus, reisi osui vipuun, lähellä ultraäänianturia, kompastuessaan vetäisi langasta, painekytkin käynnisti.
Huono suunnittelu, paljon häiriöitä, ylimääräisiä liikkeitä, kaikkia tekijöitä ei ole otettu huomioon	Paljon häiriöitä (3 X), huono ohjausvipu, kova suoja, epäluotettava letkun kiinnitys, hidas paineennousu ⇒ pitkä viive, kokematon suunnittelija (lukuisia puutteita), yhdellä kuristimella liikaa tehtäviä, turha puristumisvaara, sylinteri irtosi (ei tilastoissa).
Vika on aiheuttanut tapaturman	Kulunut vipu (⇒ nopea liike), paineohjattu rajakatkaisin ei toiminut, tukkeuma ⇒ ylipaine ⇒ letku irtosi, venttiilivuoto ?, tanko hetken jumissa, letku irtosi ja männäntiiviste vuoti.
Sähkö pois, paineilma ei, paineilma päällä tai paine varastoitunut	Kytkin sulki sähköön paine jäi, paine pois ⇒ terä putosi viiveen jälkeen, paineilmaa ei kytketty turvajärjestelmään, kaikkia paineita ei kytketty pois, puutukoksen selvittäminen salli paineellisen männän liikkeen.
Koneen epätavallinen liike, liikettä ei tapahdu normaalissa työkierossa tai se tapahtuu nopeammin	Vian seurauksena nopea liike, häiriön jälkeen nopea liike palautettaessa paineet (2X), yksi kuristin monelle sylinterille ⇒ viimeisellä liikkuvalla sylinterillä nopea liike.

Seuraavassa on otteita TAPSista kolmesta tyypillisestä paineilmasylinterin aiheuttamasta tapaturmasta. Alussa on mainittu tapaturmaselostuksen numero.

08905 Vahingoittunut oli poistamassa tyhjää pakkausta koneesta. Hän laittoi oikean kätensä teräsuojuksen alle. Samanaikaisesti kone käynnistettiin, jolloin kaksi oikean käden sormeja jäi leikkurin terien alle. Seurauksena oli sormivamma. Konesuojus oli puutteellinen, ja lisäksi koneen käynnistyspaikasta ei nähnyt ko. kohtaan konetta.

05621 Säkittämön automaattisella lavauskoneella häiriötä selvitettyä ilmeisesti lavan nostimen haarukka iski uhria päähän. Haarukan liike oli normaalia nopeampi sen käynnistyessä häiriön jälkeen ... Automaattisen

laitteiston vaara-alueelle pääsi esteettä laitteiston ollessa käynnissä tai odotustilassa.

- 05608 Paperitehtaan puuhiomossa oli yhden hiomakoneen syöttöaukkoon juuttunut puita ... Vahingoittunut oli painanut ohjauspaneelissa ”kiinni”-nappia, jolloin sylinteri työnsi kuljettimen syöttöaukon päälle. Aukossa ollut tukos esti kuitenkin sylinterin liikkeen. Tämän jälkeen vahingoittunut oli siirtynyt kuljettimen yli sen toiselle puolelle, josta hän oli yrittänyt laukaista tukosta ja olikin onnistunut siinä. Tukoksen lauetessa sylinterissä ollut paine sysäsi samalla kuljettimen hyvin voimakkaasti kiinni, jolloin vahingoittuneen jalka jäi lukitustapin ja kiinnilauenneen kuljettimen väliin.

Kaikissa tutkituissa tapauksissa olisi yhdenkin merkittävän tapaturman syyn poistamisella onnettomuus vältetty. Odottamaton käynnistys on ollut syynä 50 %:ssa kaikista tapaturmista ja puutteellinen suojaus 43 %:ssa tapaturmista. Näihin kumpaankin tekijään pystytään vaikuttamaan ohjausjärjestelmällä, turvalaitteilla ja suojuksilla. Huono suunnittelu (esim. paljon häiriöitä) (36 %), pysäytystilanteessa paineilman jääminen sylinteriin (18 %), huono näkyvyys (14 %), puutteelliset varoitukset (14 %) ja vaarallinen työmenetelmä (25 %) ovat kaikki syitä, joihin voidaan vaikuttaa huolellisella suunnittelulla ja ohjeilla. Vika (21 %) ja koneen epätavallinen liike (14 %) ovat tekijöitä, joihin voidaan vaikuttaa ennakoivalla kunnossapidolla, komponenttien valinnalla ja järjestelmän rakenteella. Odottamaton käynnistys on tapaturman aiheuttajana ollut hieman yleistymässä (ei kuitenkaan tilastollisesti merkittävä kasvu). Vaikka suoja- ja turvalaitteet auttavat parhaiten tuotannossa ja häiriönpoistossa, on niillä merkitystä myös korjaustilanteissa (20 % tapaturmista). Taulukosta 2 nähdään tapaturmien syitä eri toimintamuodoissa. Kaikissa tapaturmissa on ollut useita syitä, ja siksi prosenttilukujen summa on suurempi kuin 100 %.

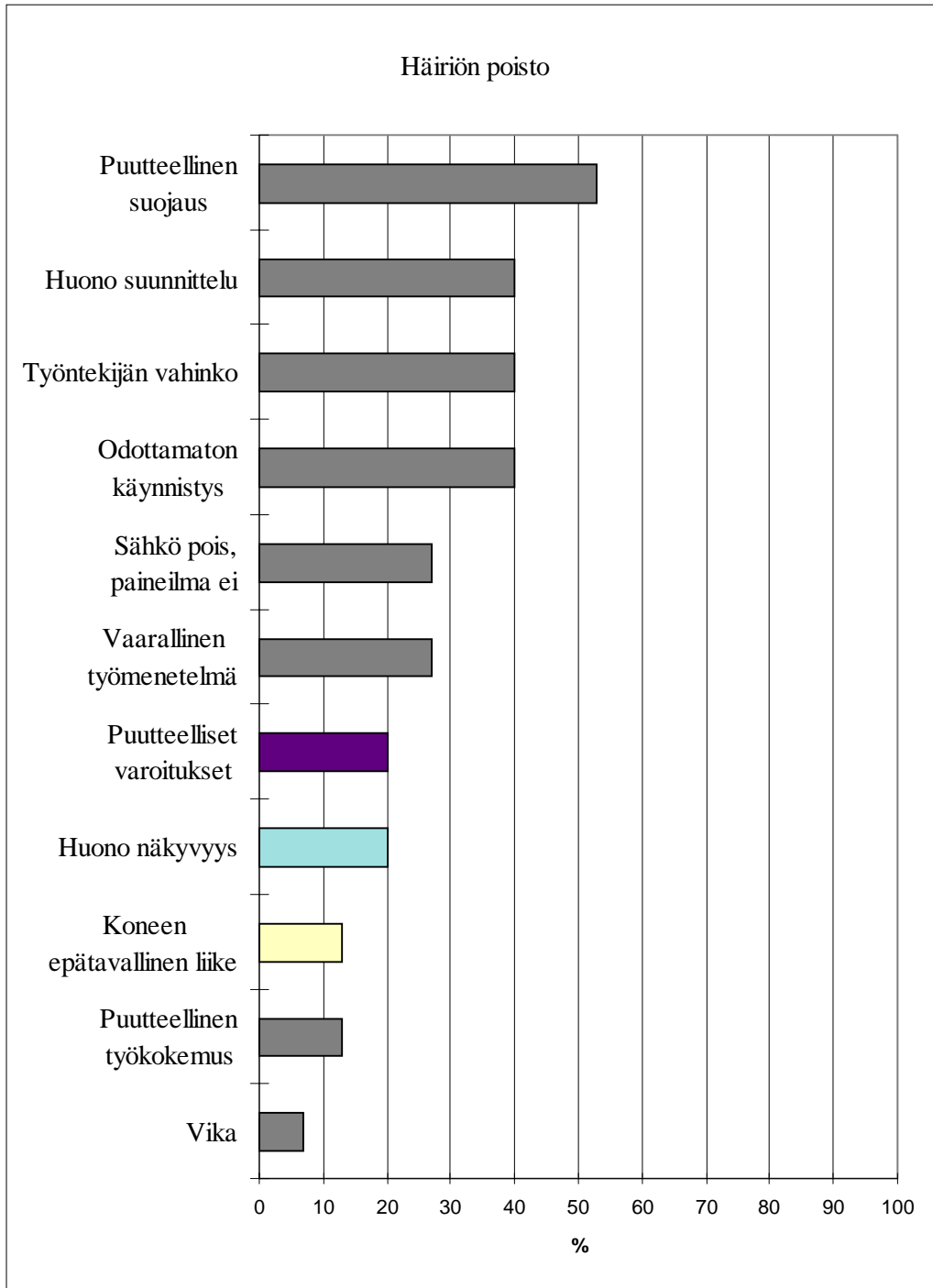
Taulukko 2. Pneumaattisilla sylintereillä sattuneiden tapaturmien syitä ja osuuksia eri toimintamuodoissa.

n=28

	Yht. %	Yht. kpl	kpl tapauksia eri toimintamuodossa		
			Häiriön poisto	Korjaus	Tuotanto
Odottamaton käynnistys	50	14	6	7	1
Työntekijän vahinko	46	13	6	5	2
Puutteellinen suojaus	43	12	8	2	2
Huono suunnittelu	36	10	6	3	1
Vaarallinen työmenetelmä	25	9	4	2	1
Vika	21	6	1	5	0
Puutteellinen työkokemus	18	5	2	1	2
Sähkö pois, paineilma ei	18	5	4	1	0
Huono näkyvyys	14	4	3	1	0
Koneen epätavallinen liike	14	4	2	1	1
Puutteelliset varoitukset	14	4	3	1	0
Yhteensä kpl		28	15	10	3
Yhteensä %		100	54	36	11

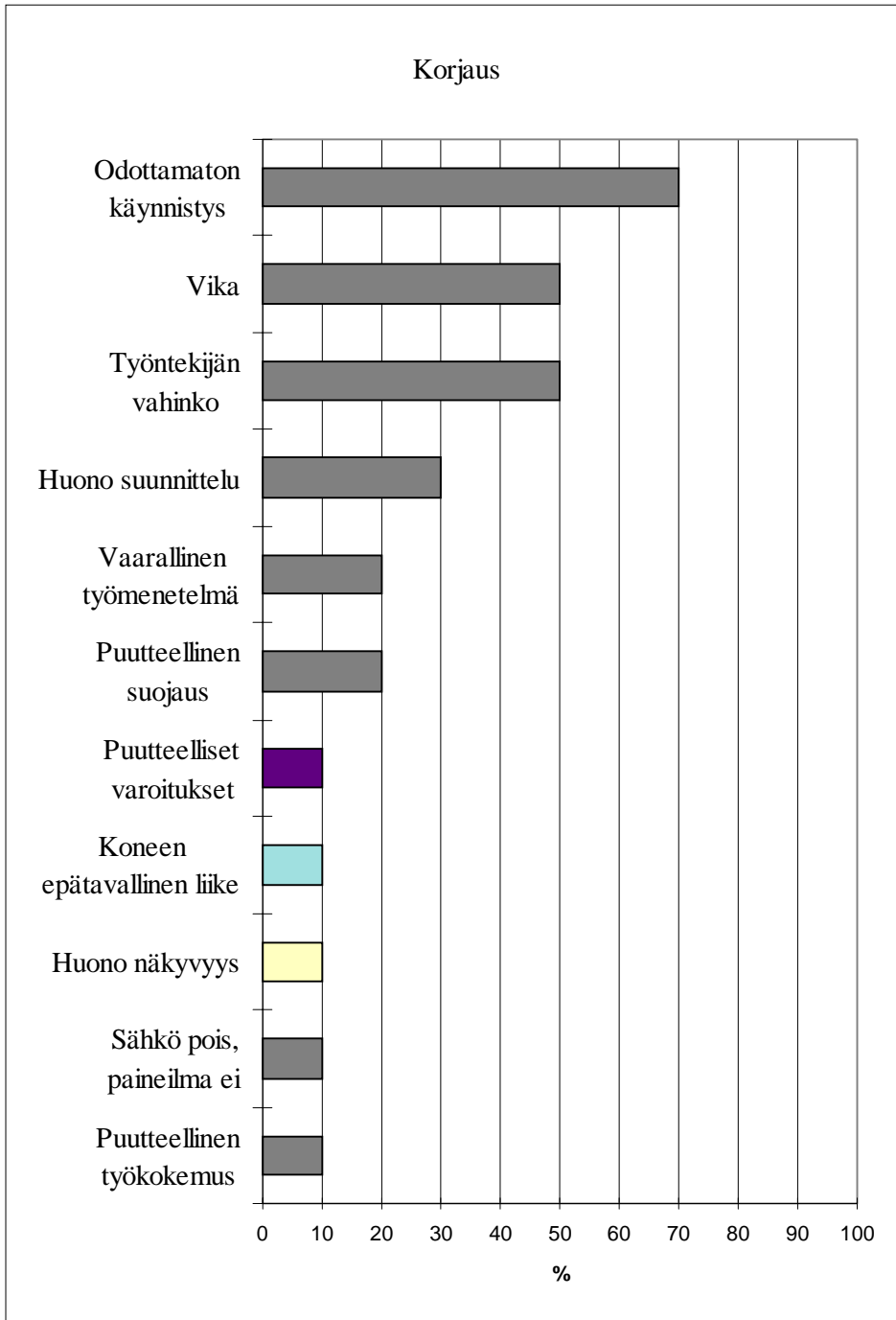
Kuvassa 7 on esitetty häiriönpoistotilanteessa sattuneiden tapaturmien syitä prosentteina. Häiriönpoistotilanteissa on merkittävimpana syynä ollut puutteellinen suojaus. Yleisesti häiriönpoistotilanteisiin ovat vaikuttaneet suunnittelussa tehdyt virheet. Selvä suunnitteluvirhe on ollut tilanne, jossa sähköt on kytketty pois mutta järjestelmään on kuitenkin jätetty paine. Tapaturmissa on esim. henkilö saattanut painaa hätäpysäytintä ja luullut, että alueelle voi mennä turvallisesti, mutta kaikista kohdista ei paine kuitenkaan ollut poistunut. Koska tapaturmia sattuu eniten juuri häiriötilanteissa, olisi myös häiriöiden vähentämisellä suuri vaikutus tapaturmien määrään.

Työntekijän vahinko ja vaarallinen työmenetelmä ovat olleet tavallisia tapaturmien syitä häiriönpoistossa. Niiden ero on siinä, että ”vaarallinen työmenetelmä” on ollut jatkuva ”normaali” työtapa kun taas ”työntekijän vahinko” on ollut vahinko tai juuri sillä kerralla käytetty ainutkertainen menetelmä. Näistä erityisesti ”vaaralliseen työmenetelmään” voidaan vaikuttaa koulutuksella ja tiedottamisella.



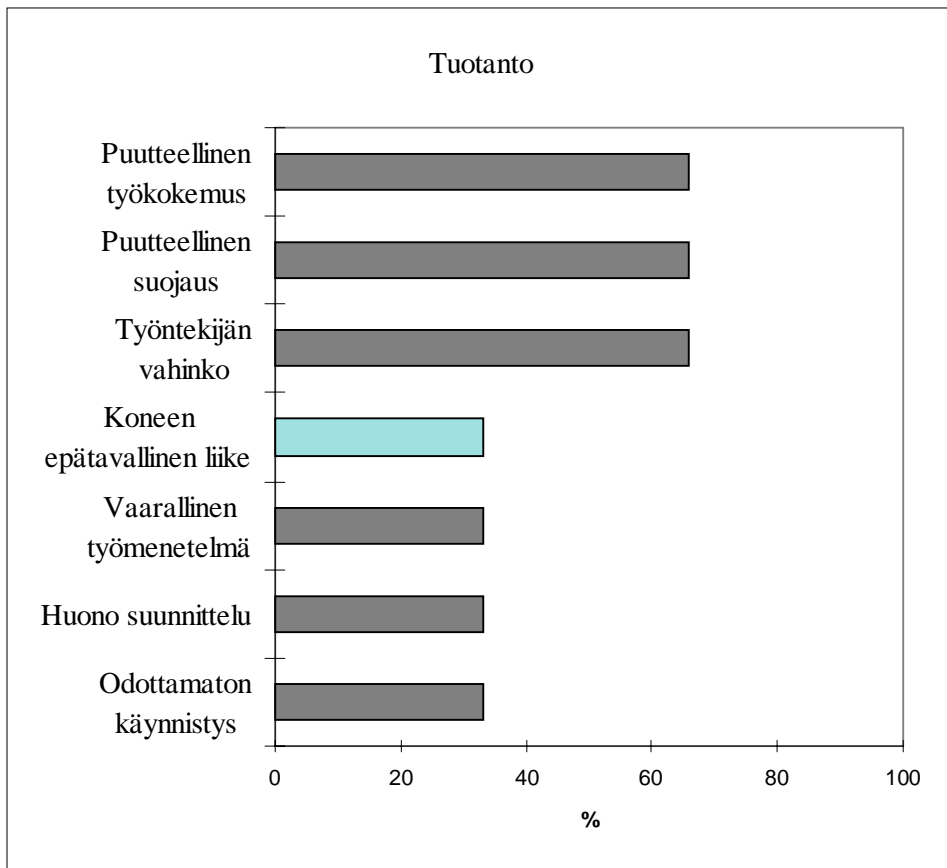
Kuva 7. Häiriönpoistotilanteessa sattuneiden tapaturmien syitä.

Kuvassa 8 on esitetty korjaustilanteessa sattuneiden tapaturmien syitä. Korjaustilanteissa selvästi merkittävimpana tekijänä tapaturmien syntyyn on ollut odottamaton käynnistys. Koneen vialla on varsinaisesti ollut vaikutusta joka toisessa tapaturmassa, vaikka vika on aiheuttanut yllättävän liikkeen vain yhdessä tapauksessa.



Kuva 8. Korjaustilanteessa syntyneiden tapaturmien syitä.

Kuvassa 9 on esitetty tuotantotilanteessa sattuneiden tapaturmien syitä. Tapaturmia on tuotantotilanteessa sattunut niin vähän, että prosenttiluvut ovat viitteellisiä. Luvuista kuitenkin nähdään, että tuotannon aikaisiin tapaturmiin ovat vaikuttaneet erityisesti työntekijän ominaisuudet (puutteellinen kokemus, työntekijän vahinko sekä vaarallinen työmenetelmä) ja puutteellinen suojaus. Tiedottamisella ja koulutuksella olisi vaikutusta juuri ensiksi mainittuihin tekijöihin.



Kuva 9. Kuvassa on esitetty tuotantotilanteessa sattuneiden tapaturmien syitä.

Taulukossa 3 on esitetty tapaturmien määrät eri vuosina syittäin. Vuosi 1995 ei ole tilastoissa kokonaan (vuonna 1995 tapaturmia sattunut ainakin yksi enemmän kuin taulukossa on mainittu). Taulukosta voidaan nähdä, että tapaturmatiheys on hieman kasvanut, mutta toisaalta ero ei ole tilastollisesti merkittävä. Erityisesti odottamattomat käynnistymiset ovat yleistyneet. Tapaturmat ovat yleistyneet, koska pneumatiikalla toteutettu automaatio on yleistynyt. Odottamattoman käynnistymisten yleistyminen saattaa olla seurausta yhä laajempien ja monimutkaisempien automaatiojärjestelmien yleistymisestä.

Taulukko 3. Tapaturmien lukumäärät syöttäin eri vuosina.

	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Yhteensä
	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	
	8	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	9	9	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	
Häiriönpoisto				2		2	3	1			1		2	3	1	15
Vahinkokäynnistys	1						1	1		3	2		2	2	2	14
Työntekijän vahinko	1			1		1		1		2	1	1	1	2	2	13
Puutteellinen suojaus	1		1	2		1	2			1	2			1	1	12
Huono suunnittelu				1		2	2	1		1		1	2			10
Korjaus, huolto, asennus yms.						2		1		4	1		1		1	10
Vaarallinen työmenetelmä			1			1	1						1	2	1	7
Vika						2		1		2			1			6
Puutteellinen työkokemus	1					1						1	1		1	5
Sähkö pois, paineilma ei				1		1	1							1	1	5
Huono näkyvyys							2	1			1					4
Koneen epätavallinen liike						1	2					1				4
Puutteelliset varoitukset						1	1	1					1			4
Automaattiajo	1		1									1				3

3.2 TIETOA KÄYTTÄJILTÄ JA KIRJALLISUUDESTA

Haastattelututkimuksessa saatiin vastauksia yhdeltätoista käyttäjältä, kunnossapidon vastaavalta, tehdaspalveluinsinööriltä ja työnjohtajalta. Kaikissa tapauksissa vastauksissa otettiin huomioon kaikki tehtaan järjestelmät. Vastajista seitsemän oli elintarviketeollisuudesta ja kolme kappaletavaraa tuottavasta teollisuudesta (lisäksi oli yksi nimetön vastaus). Haastattelun tavoitteena oli kerätä laaja joukko käyttäjien ongelmallisiksi kokemia kohtia. Käyttäjien kyselyn jälkeen haastateltiin järjestelmien suunnittelijoita (viidestä eri yrityksestä) ja pyydettiin kommentteja käyttäjien vastausten yhteenvedoon. Näin pystyttiin yleistämään ongelmia ja selittämään ongelmien syitä.

Haastattelu käsitti 36 kysymystä, joista osassa oli lisäksi tarkentavia kysymyksiä. Kysymyksissä tarkasteltiin koko pneumaattista järjestelmää, sen ohjausta, ohjeita ja turvalaitteita.

Haastattelun vastauksista näki, että ongelmia oli erityisesti vanhoissa järjestelmissä ja että alojen ominaiset ympäristöolosuhteet vaikuttivat esiintyneisiin ongelmiin. Suunnittelijoiden kommenttien mukaan useimpiin ongelmiin oli löydettävissä ratkaisu mm. kiinnittämällä huomiota paineilmajärjestelmään, materiaaleihin ja eri osien sijoitteluun. Seuraavassa on lista eräistä käyttäjien ja suunnittelijoiden huomioista:

- Nimellisverkkopaine on melko korkea. Tämä johtaa suureen energiankulutukseen. Vanhoissa järjestelmissä paineen vaihtelu on usein suurta. Nykyisin voidaan jopa kauppakirjaan tehdä maininta siitä, kuka korvaa huonosta ilmanlaadusta johtuvat vahingot.
- Vesi on ollut ongelma erityisesti vanhoissa laitteissa. Veden poisto on erityisen tärkeää paineilmasta, jota käyttävät ulkona olevat toimilaitteet.
- Vanhoissa järjestelmissä suojaukset ovat usein puutteellisia.
- Pesuaineet ja painevesi ovat päässeet tiivisteiden ohi sähkölaitteisiin. Sähköohjatut venttiilit on kosteissa paikoissa hyvä pyrkiä sijoittamaan koteloituun tilaan.
- Käynnistystilanteissa kone saattaa tehdä ylimääräisiä liikkeitä, mutta nämä tapahtuvat suojatulla alueella. Käynnistyksessä tapahtuvia liikkeitä pystytään vaimentamaan esim. pehmeäkäynnistysventtiilillä.
- Vikatilanteiden hoitoon ei valmistaja ole antanut riittäviä ohjeita.
- Useimmin vikaantuvina komponentteina mainittiin venttiilit, letkut ja anturit. Monissa tapauksissa vikatiheyden pystytään vaikuttamaan merkittävästi komponenttivalinnalla.
- Sekvenssiohjauksissa käytettiin vielä jonkun verran ajastimia antureiden sijaan. Antureilla saataisiin kuitenkin lisää nopeutta, liikkeen perillemenon valvonta tulee mahdolliseksi ja uudelleenkäynnistyksessä tiedetään toimilaitteen asento.

Ongelmat ovat olleet yleensä yksittäistapauksia ja mikään tekijä ei ole erityisesti noussut esiin. Haastattelututkimuksen yhteenveto kommentteineen on liitteessä B.

Kirjallisuustutkimus

Kirjallisuudesta ja lehdistä etsittiin tietoa paineilmajärjestelmien turvallisuudesta. Standardien ja oppikirjatyypisten laajojen pneumatiikkaa käsittelevien kirjojen lisäksi löytyi artikkeleita, joissa käsiteltiin jotain tiettyä luotettavuuden tai turvallisuuden liittyvää aihetta. Eniten on kirjoitettu paineilmajärjestelmien vikadiagnostiikkaa käsittelevistä tutkimuksista. Diagnostiikkajärjestelmä on toteutettu eri paikoissa käyttäen neuroverkkoja, normaalia tietokonetekniikkaa tai ohjelmoitavaa logiikkaa. Kokemukset ovat olleet pääsääntöisesti hyviä. Kirjallisuudesta löydettyjä tietoja on hyödynnetty liitteen A tarkistuslistassa.

3.3 PAINEILMAN TURVALLISUUTEEN VAIKUTTAVIA TEKIJÖITÄ

Standardissa SFS-EN 983 esitetään monia pneumatiikkaan liittyviä vaatimuksia. Näitä vaatimuksia ja muita yleisiä ohjeita on kerätty liitteeseen A (Tarkastuslista pneumatiikkajärjestelmien turvallisuussuunnitteluun) [SFS-EN 983 1996].

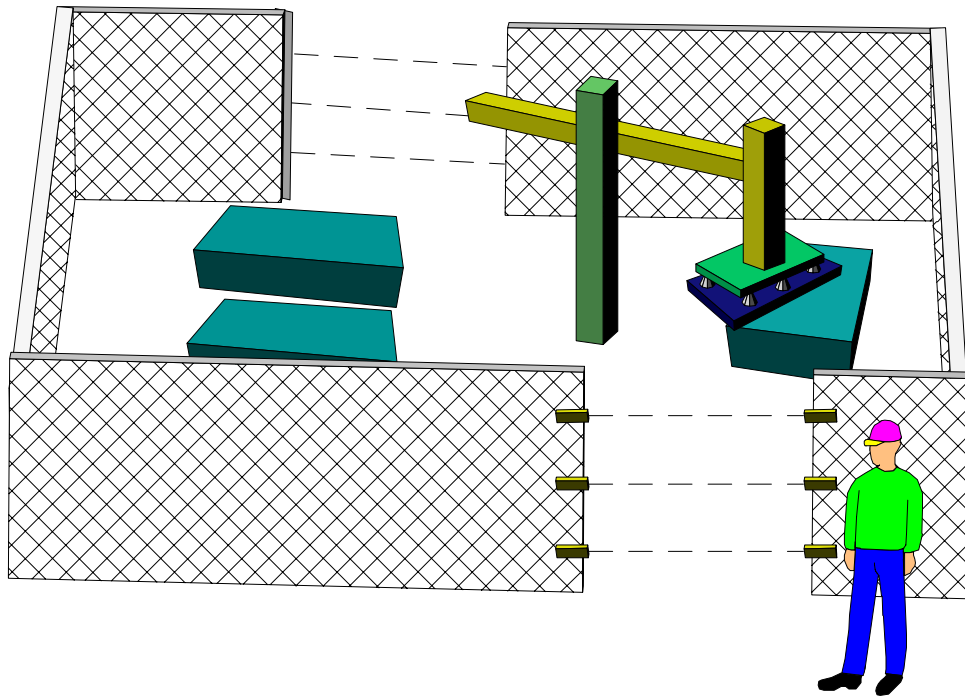
Pysäyttämiseen liittyviä tekijöitä ovat mm. turvallisuus, luotettavuus, pysähtymismatka ja -aika. Häätöpysäytykseltä vaaditaan parempaa luotettavuutta kuin tavalliselta pysäytykseltä. Häätöpysäytykseen liittyviä sähköisiä vaatimuksia on esitetty standardissa SFS - EN 60204-1. Häätöpysäytyksessä pyritään, mikäli mahdollista, saattamaan kone pysäytystilaan, jossa ei ole varastoitunutta energiaa.

Energiaa voi kuitenkin varastoitua esim. taakan pitämiseen ylhäällä. Pysäytyksen luotettavuuteen ja turvallisuuteen liittyvä tekijä on se, kuinka varmasti kone pysähtyy vikatilanteissakin. Näitä tekijöitä on käsitelty luvussa 4 ja standardissa SFS - EN 954 - 1. Häätäpysäytyksen pitää olla niin nopea kuin mahdollista, mutta toisaalta häätäpysäytyksestä ei saa seurata nopeasta pysäytyksestä johtuvaa rikkoutumista tai kappaleen sinkoutumista.

Pneumatiikassa häätäpysäytys voidaan toteuttaa monella eri tavalla, ja kuhunkin keinoon liittyy hyviä ja huonoja puolia. Keinoja on mahdollista käyttää myös perättäin, jotta saavutetaan nopea pysäytys ja sylinteri jää energiattomaan tilaan. Pysäytystila on mahdollista varmistaa antureilla ja, jos pysäytys ei toteudu riittävän nopeasti, voidaan siirtyä toisenlaiseen pysäytykseen. Lisäksi pysäytystä voidaan varmistaa myös jarrulla tai mekaanisella esteellä. Seuraavassa lista keinoista ja niiden eduista tai haitoista. Esimerkkikuvia eri menetelmistä on kohdassa 4.3.

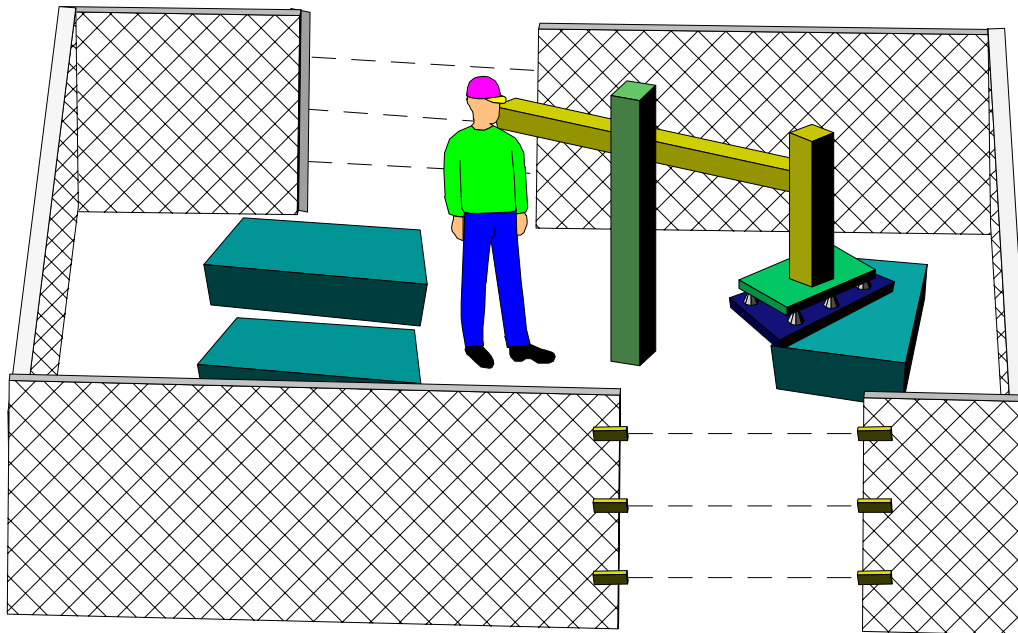
- Tehdään järjestelmä paineelliseksi (vrt. kuva 20). Menetelmässä pysäytys tapahtuu nopeasti mutta sylinteriin jää paine. Tämän vuoksi pitää harkita, pitääkö paine poistaa varsinaisen pysäytyksen jälkeen (paine poistetaan, jos se on turvallista).
- Suljetaan ilmatilavuus (vrt. kuva 21). Menetelmässä jää pysäytyksen jälkeen sylinterin molemmille puolille epämääräinen paine, ja siksi sylinteri saattaa uudelleenkäynnistyksessä liikkua odottamattomasti. Paineen poisto tehdään pysäytyksen jälkeen, jos se on turvallista.
- Poistetaan syöttöpaine (vrt. kuva 19). Menetelmässä sylinteri tehdään heti paineettomaksi, mutta liike ei välttämättä pysähdy välittömästi. Pysäytys on mahdollista tehdä esim. jarrulla, vastaventtiileillä tai, jos liike ei voi aiheuttaa vahinkoa, erillisiä lisätoimenpiteitä ei tarvita.
- Ohjataan liikesuunta päinvastaiseksi (vrt. kuva 22). Menetelmää voidaan käyttää, kun paluuliike ei ole vaarallinen. Paluuliikkeen jälkeen voidaan paineet poistaa, jos se on turvallista.

Pysähtymisaika on tärkeä tekijä silloin, kun automaatiojärjestelmä on suljettu ja sinne pääsee vain valvotuista kohdista, esim. valoverhon tai portin kautta. Kuva 10 esittää tilannetta, jossa pysähtymisaika on tärkeä tekijä turvaetäisyyksien mitoituksessa. Ahtaissa paikoissa saattaa olla tarvetta lyhentää ison pneumatiikka-sylinterin aiheuttamaa pysähtymisaikaa. Pysähtymisaikaa pystytään lyhentämään tehokkaimmin jarrulla, mutta myös ohjatuilla vastaventtiileillä ja pienemmällä sylinterillä on vaikutusta. Sen sijaan paineen alennuksella tai nopeuden alennuksella on vain vähän vaikutusta pysähtymisaikaan. Sylinterin pysähtymisaika ei ole vakio, vaan pisin pysähtymisaika saadaan silloin, kun pysähtymiskäske annetaan aivan liikkeen alussa. Tämä johtuu siitä, että pysäytyksessä ohjataan ilmaa sylinterin vastakkaiselle puolelle ja tällöin pitää täyttää suuri ilmatilavuus [Malm 1994].



Kuva 10. Pysähtymisaika on tärkeä tekijä turvaetäisyyksien mitoituksessa, kun ihminen tulee järjestelmään sen ulkopuolelta.

Pysähtymismatka on tärkeä tekijä turvaetäisyyksien mitoituksessa silloin, kun ihminen liikkuu samalla alueella kuin automaattinen kone ja koneen pitää pysähtyä ennen kuin ihmiseen kohdistuva voima kasvaa liian suureksi. Kuva 11 esittää tätä tilannetta. Paineilmasynterin pysähtymismatkaa pystytään parhaiten lyhentämään jarrulla tai nopeuden pudotuksella. Sen sijaan paineen alennuksella tai erilaisilla kytkennöillä on vain vähän vaikutusta pysähtymismatkaan. [Malm 1994]



Kuva 11. Pysähtymismatka on tärkeä silloin, kun ihminen on järjestelmän sisällä ja koneen pitää pysähtyä esim. tuntoreunaan vaikuttamisen jälkeen ennen kuin ihmiseen kohdistuu vahingollisen suuri voima.

Joissain tapauksissa saattaa olla mahdollista käyttää alhaista nopeutta turvallisuuden parantamiseen. Jos käytettävissä on tuotantonopeus ja alennettu nopeus ja alennettua nopeutta käytetään silloin, kun ihminen menee laitteen toiminta-alueelle, koskevat alennettua nopeutta omat ohjeet. Ohjeita on annettu mm. robotteja koskevassa standardissa SFS - EN 775 [1993], jonka mukaan mm. alennettu nopeus on alle 250 mm/s, alennettua nopeutta käytettäessä konetta ohjataan pakkoikäyttöisillä painikkeilla tai liikkeit sallitaan ohjauksen sallintalaitteella, tila valitaan omasta kytkimestä ja alennettu nopeus toteutetaan kuten muutkin turvatoimet. Alennetun nopeuden käyttö on paineilmalla toimivissa järjestelmissä tällä hetkellä harvinaista.

Hätäpysäytystilanteessa pyritään turvalliseen tilaan, ja tällöin yleensä poistetaan paineet järjestelmästä. Kaikissa tapauksissa paineen poisto ei kuitenkaan ole turvallista. Kohteita, joissa paineilman säilyttäminen on tärkeää, on mm. imukuppitartunnassa, kappaleen pitämisessä tarttujassa, pystysylintereissä, pneumaattisissa asennoittimissa, palo-ovissa, pneumaattisella ohjatussa lukituksessa ja pidettäessä pneumaattisella toimilaitteella tavarajonoa kuljettimella kasassa. Näissä tilanteissa käytetään usein myös painesäiliötä, jotta haluttu toiminta vielä toteutuisi tai jatkuisi mahdollisimman pitkään, kun paineilman syöttö on menetetty.

Moniin pneumaattisten laitteiden toimintahäiriöihin ovat syynä paineilmassa olevat epäpuhtaudet. Paineilman puhtaudelle on esitetty laatuluokitus ISO:n standardissa 8573-1 ja PNEUROP-suosituksessa 6611/84. Laatuluokituksessa asetetaan raja-arvot partikkelikoolle ja määrälle, kastepisteelle sekä öljymäärälle. Käytetyn paineilman täyttäessä vaaditun laatuluokan taataan tuotteille pitkäaikainen ja häiriötön toiminta.

Paineilmassa olevat epäpuhtauspartikkelit aiheuttavat helposti toimintahäiriöitä herkissä komponenteissa esimerkiksi kiilautuessaan luistiventtiilin karan väläyksiin. Toimilaitteiden ja komponenttien valmistajat määrittelevät vaadittavan paineilman laatuluokan tuotteilleen nimenomaan partikkelikoon ja mahdollisesti partikkelimäärän suhteen. Partikkelikokoa ja määrää on kuitenkin vaikea mitata, ja siksi tavallisesti luotetaan suodattimissa ilmoitettuihin arvoihin. Partikkelien lukumäärään taas vaikuttaa suodattamattoman ilman puhtaus. Pölyhiukkasiakin on monenlaisia, esim. kivipöly on laitteissa erityisen kuluttavaa.

Paineilmassa oleva kosteus puolestaan aiheuttaa korroosiota järjestelmässä ja toimintahäiriöitä komponenteissa. Järjestelmän toimiessa kylmissä olosuhteissa kosteus aiheuttaa jäätymistä. Suosituksena on, että paineilman kastepisteen tulee olla ainakin 10 °C alempi kuin paineilmajärjestelmän alhaisin käyttölämpötila.

Paineilman seassa oleva öljy on peräisin kompressorista ja se ei ole kelvollista komponenttien voiteluun vaan luokitellaan epäpuhtaudeksi, joka tulee poistaa öljynerottimien avulla (tavallisesti paineilmakompressorin lähellä). Laatuluokituksessa asetetaan paineilman öljypitoisuudelle raja-arvot. Mikäli komponenttien tai toimilaitteiden toiminta vaatii voitelua, asennetaan niiden läheisyyteen erillisiä sumuvoitelulaitteita, joilla voitelu toteutetaan. Yleensä vaadittava alhainen öljypitoisuus on puhtaustekijä eikä niinkään luotettavuuteen vaikuttava asia. Esim. elintarviketeollisuudessa vaaditaan erityisen öljytöntä ilmaa. Taulukossa 4 on esitetty ISO 8573 -standardin mukainen laatuluokitus, jossa on esitetty paineilman eri ominaisuuksien raja-arvot.

Taulukko 4. Paineilman laatuluokitus [ISO 8573-1 1991].

Luokka	Partikkelikoko μm	Partikkelimäärä mg/m^3	Kastepiste $^{\circ}\text{C}$	Öljymäärä mg/m^3
1	0,1	0,1	-70	0,01
2	1	1	-40	0,1
3	5	5	-20	1
4	15	8	+3	5
5	40	10	+7	25
6	-	-	+10	-
7	-	-	ei vaatimusta	-

Taulukkoon 5 on kerätty esimerkkejä eri paikoissa käytetyistä ilman puhtausluokista standardin ISO 8573 - 1 mukaan [Fonselius et al. 1997]. Ensisijaisesti pitää aina noudattaa osien valmistajien suosituksia eikä tämän taulukon esimerkkejä. Taulukon viimeisellä rivillä on esitetty haastattelujen perusteella saadut tavalliset puhtausvaatimukset (eniten myydyt suodattimet).

Taulukko 5. Esimerkkejä eräiden kohteiden tyypillisistä paineilman puhtausluokista (ISO 8573).

Käyttökohde	Kiinteät hiukkaset	Vesi	Öljy
Metalliteollisuus	4	4	5
Paineilmasyylinterit	2 - 3	2 - 4	2 - 4
Elintarvikkeiden käsittely	1 - 2	2 - 4	1 - 2
Instrumentti-ilma	2	2 - 4	1 - 3
Tavallinen automaatio (haastattelujen mukaan)	5 (40 μm suodatin)	riippuu lämpötilasta	riippuu puhtausvaatimuksista

4 STANDARDIN EN 954-1 LUOKAT

Ohjausten sisäisiin valvontoihin ja luotettavuuteen on kiinnitettävä huomiota silloin, kun koneen väärä toiminta ohjausjärjestelmän vian vuoksi voi aiheuttaa henkilövahingon. Monien automaattikoneiden vaara-alueelle pääsy on estetty turvalaittein ja suojuksin, ja siksi normaalit toiminnot eivät ole vaarallisia. Erityinen vaara on esim. kohteissa, joissa ihminen työskentelee liikkuvan koneen lähellä turvalaitteen suojaamana tai koneiden törmäys voi aiheuttaa vaaratilanteen. Tällöin turvalaitteen ja koneen pysäyttävän ohjauksen tulee olla turvallinen ja tarvittavaan ohjauksen luokkaan pitää kiinnittää huomiota. Kaikkien ohjausjärjestelmän osien ei tarvitse olla samaa luokkaa, vaan yleensä on edullista käyttää korkean luokan ohjauksia vain toiminnoissa, joissa niitä tarvitaan.

Tämän luvun kuvissa esitetään eri turvallisuustasojen ratkaisuja yksittäisille sylintereille ja pienille järjestelmille. Lisäksi selostetaan, minkä vuoksi kuhunkin ratkaisuun on päädytty. Esimerkkinä käytetään kolmiakselista manipulaattoria, jossa on imukupitarttuja. Kaikissa tapauksissa liike voidaan pysäyttää myös keskelle sylinteriä ja oletetaan, että se on hätäpysäytyksessä välttämätöntä (riskinarvioinnilla päätellään). Kaikki liikkeet on luokiteltu yhtä vaarallisiksi ja ne kuuluvat siksi samaan luokkaan standardin ”EN 954 - 1. Koneturvallisuus. Turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmien osat.” mukaan. Imukupitarttujan ohjaus ei kuitenkaan ole kuvissa luokkaa 1 korkeampi. Esimerkeissä on valvonta pyritty toteuttamaan pääosin pneumatiikalle tyypillisin keinoin, mutta luokissa 2, 3 ja 4 on tarpeen ulottaa valvontaa sähköiseen ohjausjärjestelmään. Imukupitartunnassa ei ole varsinaisesti pyritty saman luokan ratkaisuun kuin sylinterien liikkeen ohjauksessa, vaan eri kuvissa on esitetty hieman eri turvallisuustason ratkaisuja imukupitartuntaan. Imukupitartunta (tai mikään muukaan tartunta) ei ole niin luotettava, että ihminen voisi työskennellä painavan taakan alla.

4.1 LAITTEEN TOIMINTA

Tämä selostus pätee soveltuvin osin kaikkiin luokkaesimerkkeihin, joissa on kolme akselia. Samoin komponenttien kuvaukset sopivat soveltuvin osin kaikkiin kolmiakselisiin ohjausjärjestelmäluokkien esimerkkejä esittäviin kuviin.

1. Järjestelmä saa paineen ja kaikkiin sylintereihin ohjataan paine. Ohjatut vastaventtiilit (mikäli niitä on kuvassa) estävät tässä tilanteessa ylimääräiset liikkeet.
2. Liike alkaa, kun avataan kaikki ohjatut vastaventtiilit (mikäli niitä on kuvassa) ja ohjataan haluttuja ohjausventtiilejä. Paine purkautuu pois ja vastusvastaventtiilit rajoittavat akselin nopeuden sopivaksi.
3. Pysäytys tehdään sulkemalla ohjatut vastaventtiilit ja palauttamalla ohjausventtiilit perusasentoon. Tällöin paine palaa sylinterin molemmille puolille. Hätäpysäytystilanteessa avataan pysäytyksen jälkeen vielä

sulkuventtiili, jotta minimoitaisiin vahinkokäynnistyksen mahdollisuus. Sulkuventtiili poistaa paineen vasta hätäpysäytyksen jälkeen, jotta poistopuoli saataisiin paineistettua nopeasti ja pysäytys olisi nopea. Ohjatut vastaventtiilit jättävät sylinteriin paineen. Paine pitäisi pyrkiä mahdollisuuksien mukaan poistamaan myös vaakaliikettä tekevista sylintereistä. Sulkuventtiili on näissä kytkennöissä tarpeen, jotta imukuppitarttujaan saataisiin paine, vaikka muualta paine poistettaisiinkin.

4. Huoltotilannetta varten tarkastetaan, ettei tarttujassa ole mitään ja että pystyliike on ala-asennossa (tai lukittu). Tämän jälkeen avataan ohjatut vastaventtiilit, jotta sylintereistä saadaan paine pois. Sitten pääohjausventtiilillä päästetään paineilma pois ja katkaistaan paine huoltoyksiköstä. Lopuksi irrotetaan laite paineilmaverkosta.

Huoltoyksikkö

Huoltoyksikkö varmistaa järjestelmälle sopivan ilman saannin (paine, suodatus, kosteuden poisto, mahdollisesti voitelu). Paine on hyvä säätää hieman verkkopainetta alemmaksi, jotta verkkopaineen vaihtelut eivät vaikuttaisi käyttöpaineeseen. Tähän yhteyteen on mahdollista saada lukittavat paineensäätimet ja sulkuventtiilit luvattoman käytön ehkäisemiseksi.

Pehmeäkäynnistysventtiili

Pehmeäkäynnistysventtiiliä tarvitaan vaimentamaan käynnistyksessä tulevia yllättäviä liikkeitä. Kytkennässä tuodaan kaikille sylintereille työpaine riittävän hitaasti, jotta vältetään ylimääräisiltä nopeilta liikkeiltä. Pehmeäkäynnistysventtiiliä käytetään yleensä huoltoyksikön yhteydessä.

Sulkuventtiili

Sulkuventtiilillä saadaan järjestelmästä paineet pois. Paine jätetään kuitenkin osiin, joissa äkkinäinen paineenpoisto saattaa aiheuttaa vahinkoa (kuten imukuppitarttujaan). Sulkuventtiili toimii mm. hätäpysäytyksessä ja turvalaitteen aiheuttamassa pysäytyksessä. Tässä kytkennässä sulkuventtiili on tarpeen myös siksi, että imukuppitarttujalle saataisiin paine, vaikka muualta paine poistettaisiinkin.

Imukupin toiminnan ohjausventtiilit

Imukupin toimintaa ohjataan kahdella ohjausventtiilillä, joista toisella ohjataan tartunta päälle ja toisella tartunta irti. Ohjausventtiilit ovat kaksitoimisia (eivät sisällä jouta), jotta esim. sähkökatkos ei muuttaisi venttiilin asentoa ja aiheuttaisi taakan putoamista.

Ejektori

Ejektori muodostaa imukupin tarvitseman alipaineen. Yleensä jokaisella imukupilla on oma ejektori, jotta yhden imukupin päästäminen ei aiheuttaisi alipaineen vähenemistä muissa imukupeissa (kappale voi irrota).

Ilmausventtiili

Ilmausventtiilin avulla saadaan imukupin ote irtoamaan, kun käyttöpainetta ohjataan venttiiliin. Venttiili ei aukea pienestä paineesta (< 3 bar).

Vastaventtiili imun pitoon

Alipainekäyttöön tarkoitettulla vastaventtiilillä varmistetaan imun pysyminen vähäksi aikaa (riippuen kappaleen tasaisuudesta ja puhtaudesta), vaikka paine menetettäisiin. Kun käytössä on painekytin, voidaan venttiiliä hyödyntää myös energiansäästöissä pysäyttämällä ejektori silloin, kun alipaine on riittävä.

Suodatin

Suodatin estää imun mukana tulevien roskien pääsyn venttiileihin. Jos roskaa tulee kuitenkin niin paljon, että suodatin tukkeutuu, ilmaisee painekytin riittävän imun syntyneen, vaikka kappaleita ei ole tarttujassa. Hallitsematon tartunnan epäonnistuminen saattaa aiheuttaa vahinkoa ainakin laitteistolle. Suodattimen roskat puhalletaan pois kuorman irrotuksen yhteydessä. Myös paineilmakytin edessä on suodatin. Koska tämän suodattimen läpi ei ole virtausta, se ei tukkeudu helposti.

Painesäiliö

Painesäiliötä käytetään tuottamaan riittävä alipaine imukuppiin esim. sähkökatkoksen ajaksi. Painesäiliön koko riippuu tartunnassa tapahtuvien vuotojen määrästä, mutta yleensä pieni n. 10 l säiliö riittää. Jos painesäiliö sijoitettaisiin alipainepuolelle, vastaavan kapasiteetin omaavan säiliön pitäisi olla huomattavasti isompi.

Painesäiliön alapuolella oleva vastaventtiili rajoittaa säiliön käytön ainoastaan imun tuottamiseen. Ejektorin yhteydessä oleva venttiili sulkeutuu, kun alipaine on riittävä. Tämä toiminta takaa sen, että säiliön ilma riittää pitkäksi aikaa (tartunnan vuodoista riippuen). Painesäiliö tyhjenetään avaamalla ohjausventtiili, jolloin ilma virtaa ejektorin läpi pois.

Painekytin alipaineen tarkistukseen

Painekytinillä varmistetaan, että imu on ollut riittävä tartunnan onnistumiseen (kappale on tarttujassa). Alipainetta ei synny riittävästi, jos kappale ei ole tarttujassa. Jos alipaine vähenee kappaleen ollessa tarttujassa, annetaan tästä käyttäjälle varoitus.

Energiansäästöventtiilit

Energiansäästöventtiiliä tai paineenalennusventtiiliä käytetään tässä tasaamaan varren ja männän puolen välisestä pinta-alasuhteesta johtuvaa voimaeroa. Pystyakselilla myös varren ja kuorman massa vaikuttavat voimaeroon ja siten myös tarvittavaan paine-eroon. Kuorman muuttuessa paine-ero ei ole enää täsmälleen oikea.

Energiansäästöventtiilin nimenmukaisessa käytössä vähennetään ilmankulutusta paluuliikkeessä, jossa ei tarvita voimaa. Tätä ominaisuutta ei tämän luvun kuvissa esitetä.

Painekytkin työpaineen tarkistukseen

Kytkimellä varmistetaan, että työpaine on riittävä työn tekemiseen, sillä liian pieni paine voi saada aikaan yllättäviä liikkeitä. Asettamalla paineraja sopivaksi pystytään painekytkimellä (tai painevahdilla) tunnistamaan myös letkurikko, ja sulkuventtiilillä voidaan kytkeä paine pois. Kytkimellä varmistetaan myös sulkuventtiilin toiminta.

Painekytkin ohjauspaineen tarkistukseen

Painekytkimellä varmistetaan ohjauspaineen oikea toiminta.

Sylintereiden ohjausventtiilit

Tässä kytkennässä ohjataan lepotilassa paine sylintereihin. Tällä menettelyllä tiedetään, että ennen liikkeen alkua on poistopuolessa aina täysi paine. Kun liike alkaa, vastusventtiilin (vastusvastaventtiilin) läpi kulkeva ilma rajoittaa liikkeen nopeutta. Jos sylinterin tila vain suljettaisiin, saattaisi ilmamäärä poistopuolessa olla pieni (esim. vuodon seurauksena) ja vastusventtiili ei pystyisikään hidastamaan liikkeen nopeutta.

Ohjatut vastaventtiilit

Ohjatut vastaventtiilit nopeuttavat pysäytystä ja, koska ne ovat sylinterissä kiinni, ne varmistavat pysäytyksen myös letkurikkotilanteissa. Pystyliikkeen varrenpuoleinen ohjattu vastaventtiili pystyy pitämään varren ylhäällä, vaikka käyttöpaine menetettäisiinkin. Paineen purkua kaikista ohjatuista vastaventtiileistä ohjataan omalla ohjausventtiilillä, jotta paine saadaan purettua helposti myös esim. huoltotilanteissa.

Vastusvastaventtiilit

Vastusvastaventtiileillä ohjataan kuhunkin suuntaan tapahtuvan liikkeen nopeutta erikseen.

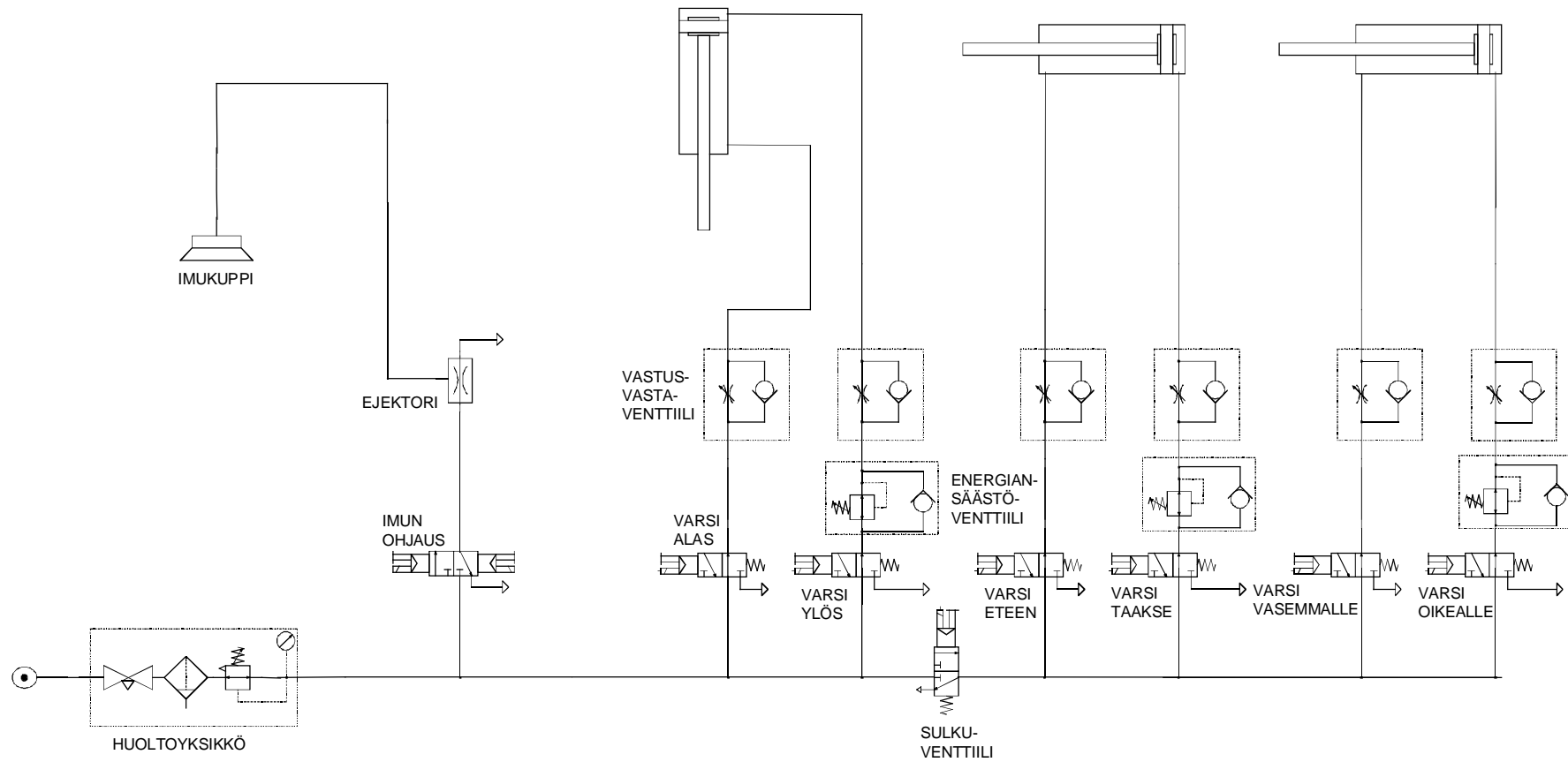
4.2 ESIMERKIT

4.2.1 Luokan B mukainen pneumaattinen ohjausjärjestelmä

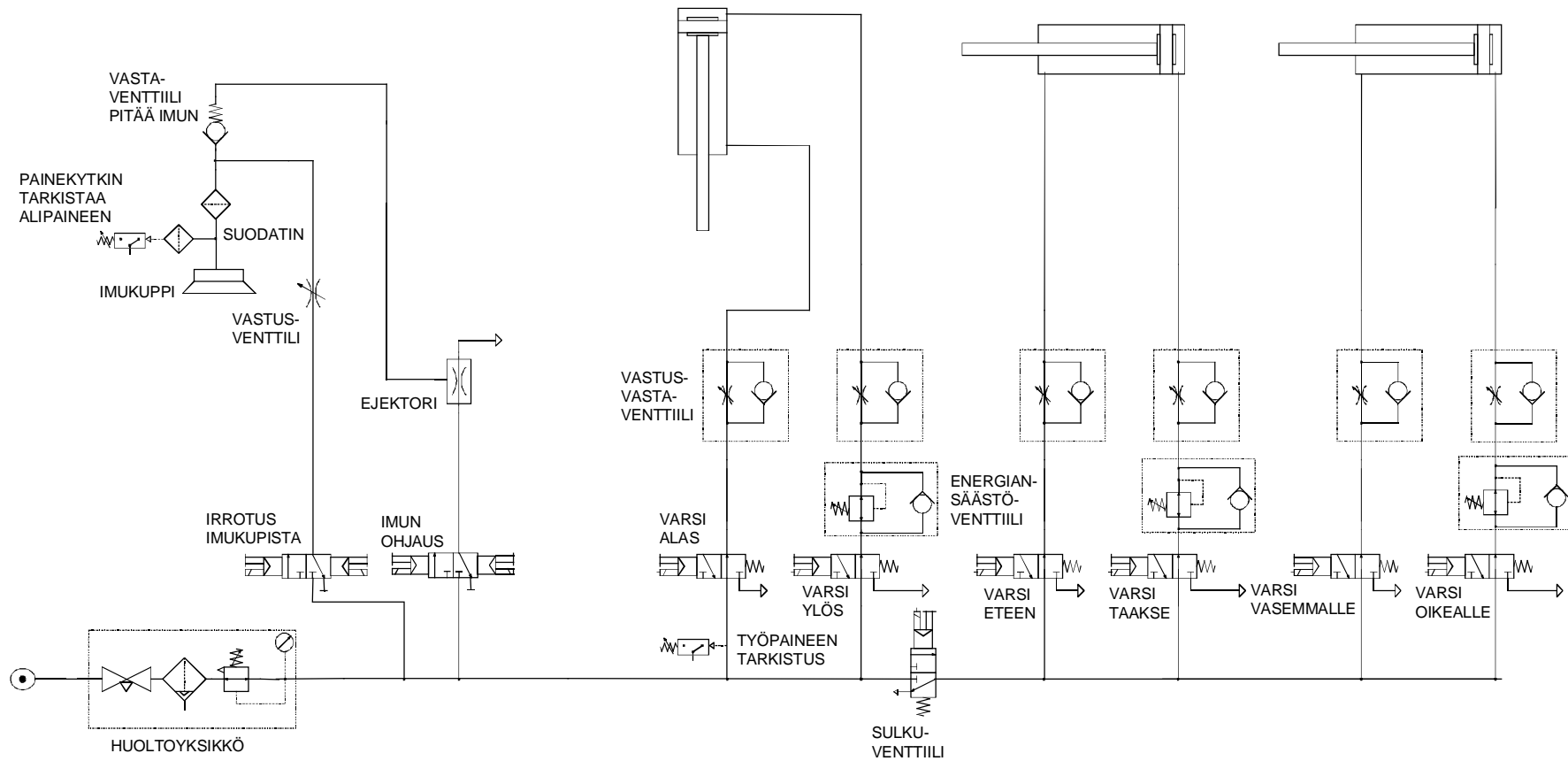
Kuvassa 12 on esitetty luokan B mukainen pneumaattinen ohjausjärjestelmä. Luokan B mukaisessa järjestelmässä käytetään tavallista vaatimukset täyttävää tekniikkaa (state of art) standardin SFS-EN 983 mukaan. Kaikkien muiden luokkien tulee täyttää myös luokan B vaatimukset. Luokkaa B (basic) käytetään, kun varsinaista tapaturmavaaraa ei ole. Ohjausjärjestelmät suunnitellaan ja asennetaan sekä komponentit valitaan ammattimaisesti siten, että laite kestää odotettavissa olevan käsittelyn ja ympäristön.

4.2.2 Luokan 1 mukainen pneumaattinen ohjausjärjestelmä

Luokan 1 mukaisessa järjestelmässä (kuva 13) pyritään korkeaan luotettavuuteen ja vähäiseen häiriöiden määrään. Tähän tavoitteeseen päästään esim. käyttämällä suodattimia, paineen valvontaa, rakenteiden kestävyys ylimitoitusta ja automaattista vedenpoistoa. Luokkaa 1 käytetään, kun vaaratilanteen seurauksena voi olla lievä vamma tai pysyvä vamma, vaaratilanne sattuu harvoin ja tietyissä olosuhteissa vaaraa voidaan väistää. Ohjausjärjestelmä toteutetaan siten, että käytetään hyväksi koettuja komponentteja ja turvallisuusperiaatteita. Standardiluonnoksessa prEN 954-2 on suppea lista luotettavista komponenteista ja periaatteista. Luokan 1 järjestelmä on luotettavampi kuin luokan B järjestelmä.



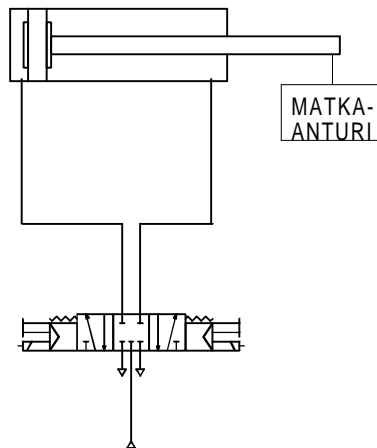
Kuva 12. Luokan B mukainen pneumaattinen ohjausjärjestelmä.



Kuva 13. Esimerkki luokan 1 mukaisesta pneumaattisesta ohjausjärjestelmästä.

4.2.3 Luokan 2 mukainen pneumaattinen ohjausjärjestelmä

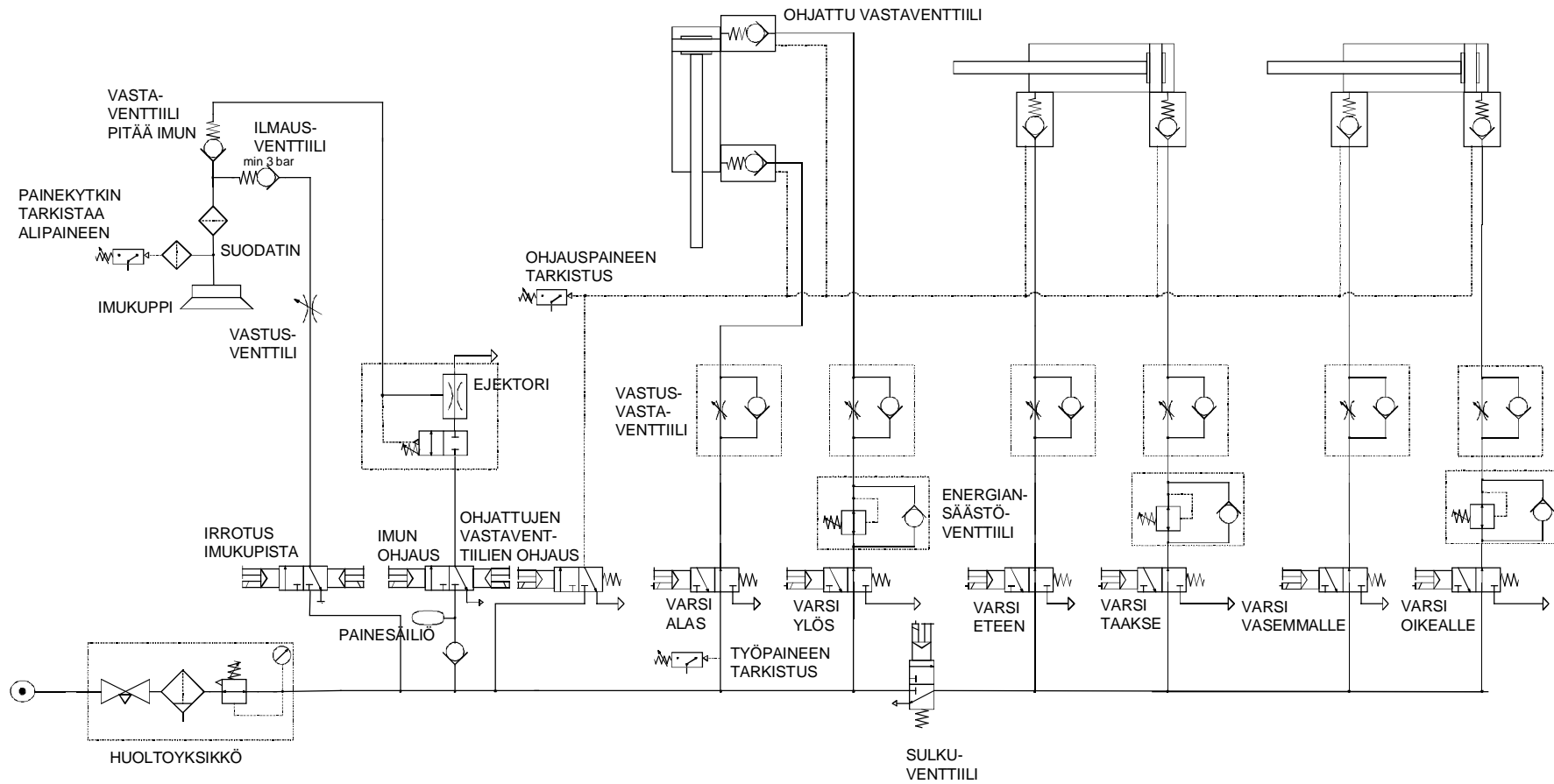
Luokan 2 mukaisessa järjestelmässä turvallisuus perustuu tietyn liikkeen jälkeen tapahtuvaan automaattiseen valvontaan. Luokkaa 2 käytetään, kun vaaratilanteen seurauksena voi olla pysyvä vamma, vaaratilanne sattuu harvoin tai melko usein ja tietyissä olosuhteissa vaaraa voidaan väistää tai vaaran välttäminen on tuskin mahdollista. Luokan 2 mukainen ohjausjärjestelmä voi olla monissa tapauksissa lähes yhtä monimutkainen kuin luokan 3 järjestelmä, joten luokan 2 järjestelmä on melko harvinainen yksinkertaisissa ohjauksissa. Elektronisilla turvalaitteilla luokka 2 on tavallinen. Luokan 2 mukainen järjestelmä voidaan toteuttaa esim. kuvan 14 tapaan (luokan 1 esimerkkikuva) lisäämällä toimintaan liittyviä valvontoja (toiminta-aika, asemavalvonta) tai kuvan 15 tapaan käyttämällä luokkaa 3 vähemmän sähköisiä valvontoja. Kuvassa 14 on esimerkki luokan 2 järjestelmästä. Esimerkissä mitataan sylinterin liikettä ja ohjelmoitava logiikka päättää, toimiiko sylinteri oikealla nopeudella. Lopullisessa kytkennässä käytetään vielä vastusvastaventtiilejä nopeuden säätöön, sähköohjattua koko järjestelmää ohjaavaa sulkuventtiiliä ja huoltoyksikköä sopivan paineilman takaamiseksi.



Kuva 14. Periaatekuva eräästä luokan 2 mukaisesta ohjausjärjestelmästä [Kleinbreuer et al. 1997].

4.2.4 Luokan 3 mukainen pneumaattinen ohjausjärjestelmä

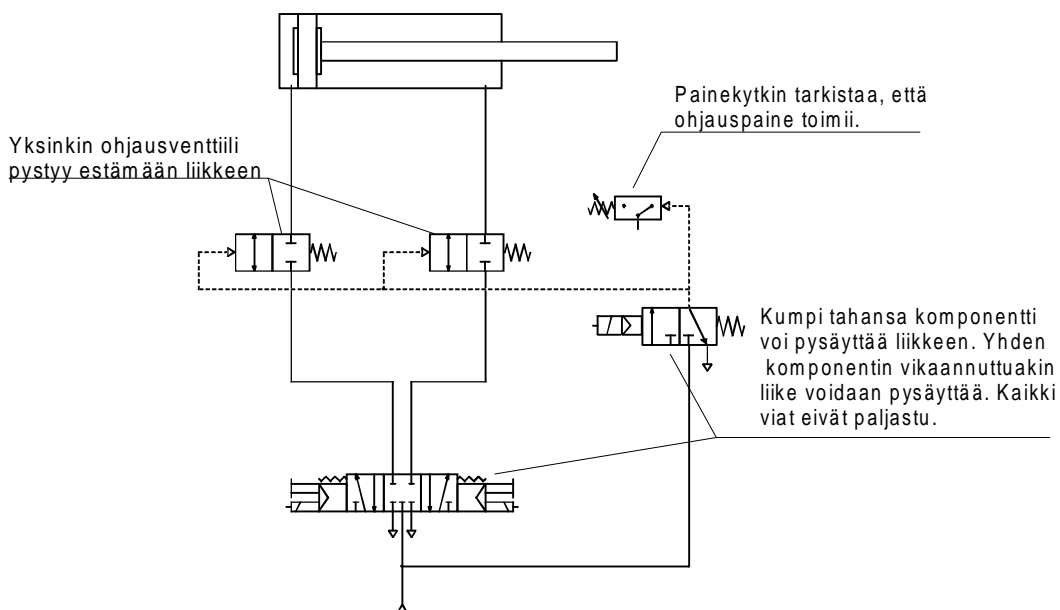
Kuvassa 15 on esimerkki standardin EN 954-1 luokan 3 mukaisesta pneumaattisesta ohjausjärjestelmästä. Luokkaa 3 käytetään, kun vaaratilanteen seurauksena voi olla pysyvä vamma, vaaratilanne sattuu usein, mutta tietyissä olosuhteissa vaaraa voidaan väistää. Ohjausjärjestelmä toteutetaan siten, että mikään yksittäinen vika ei aiheuta vaaraa ja toisaalta, mikäli mahdollista, kaikki viat paljastuvat. Venttiilien toimintaa valvotaan esimerkiksi epäsuorasti valvomalla painetta ja liikettä. Sähköiset valvonnat toteutetaan luokan mukaisilla valvonnoilla.



Kuva 15. Esimerkki luokan 3 mukaisesta ohjausjärjestelmästä (imukupin ohjaus on alemmaa luokkaa).

Toinen esimerkki luokan 3 järjestelmästä

Kuvassa 16 on esimerkki luokan 3 mukaisesta sylinterin ohjauksesta (Anwendung der kategorien nach prEN 954-1 auf fluidtechnische Steuerungen. Ölhydraulik und Pneumatik 9/1994). Kuvan järjestelmässä molempien 2/2 ohjausventtiilien ohjauspainetta valvotaan painekeytimellä. Liike pysähtyy, jos edes toinen kahdesta 2/2 venttiilistä toimii. Lisäksi 5/3 venttiili pystyy pysäyttämään liikkeen, vaikka muut venttiilit eivät toimisikaan. Kuvaan ei ole piirretty vastusvastaventtiilejä ja huoltoyksikköä.

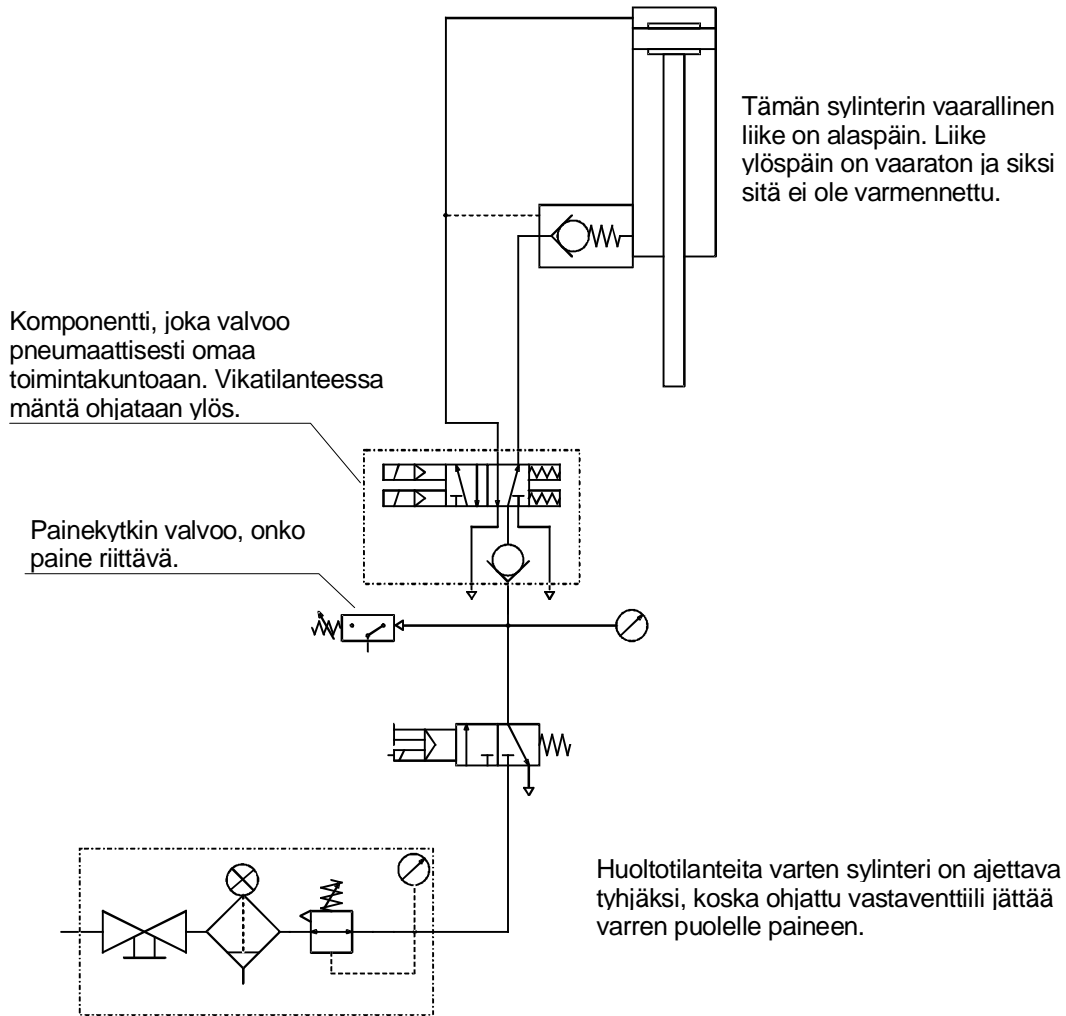


Kuva 16. Esimerkki luokan 3 mukaisesta sylinterin ohjauksesta [Kleinbreuer 1994].

4.2.5 Luokan 4 mukainen pneumaattinen ohjausjärjestelmä

Standardin EN 954-1 luokan 4 mukaisessa pneumaattisessa ohjausjärjestelmässä valvotaan kaikkien ohjausventtiilien toimintakuntoa ja vian sattuessa on vielä keinoja pysäytyksen toteuttamiseen. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että kaikissa pysäytykseen osallistuvissa venttiileissä pitää olla esim. karan aseman valvonta, kunkin venttiilin jälkeistä painetta pystytään valvomaan tai venttiilien pitää olla tehtävään tarkoitettuja itse itseään valvovia venttiilejä. Tosin painemittauksella ei kaikissa kytkennöissä saada selville vuotoja ja akselin liikkeitä. Tämän lisäksi tulee sähköisen ohjausjärjestelmän ja siihen liittyvien valvontojen olla luokan 4 mukaisia. Luokkaa 4 käytetään, kun vaaratilanteen seurauksena voi olla pysyvä vamma, vaaratilanne sattuu usein, ja vaaraa on vaikea väistää. Ohjausjärjestelmä tulee toteuttaa siten, että mikään vikaketju ei aiheuta vaaraa, ja toisaalta kaikki vaaralliset viat paljastuvat ja uutta liikettä ei sallita, jos kahdennetun osan toinen puoli ei toimi. Tyypillinen luokan 4 ohjausjärjestelmä on käsisyöttöisissä puristi-

missa, joissa puristimen pitää pysähtyä nopeasti, jos ihminen esim. työntää kättään valoverhon läpi puristimeen. Kuvassa 17 on esimerkki luokan 4 mukaisesta sylinterin ohjauksesta. Järjestelmän turvallisuus perustuu vahvasti itseään valvovaan komponenttiin, joka on suunniteltu turvallisuuskriittisiin kohteisiin. Järjestelmän turvallisuutta arvioitaessa on kiinnitettävä huomiota kokonaisuuteen, jolloin myös sähköisen ohjauksen tulee olla luokan vaatimusten mukainen. Myös pneumatiikassa käytettäviin liittimiin tulee kiinnittää huomiota (esim. pistokeliittimien luotettavuus on kyseenalaista kriittisissä paikoissa).

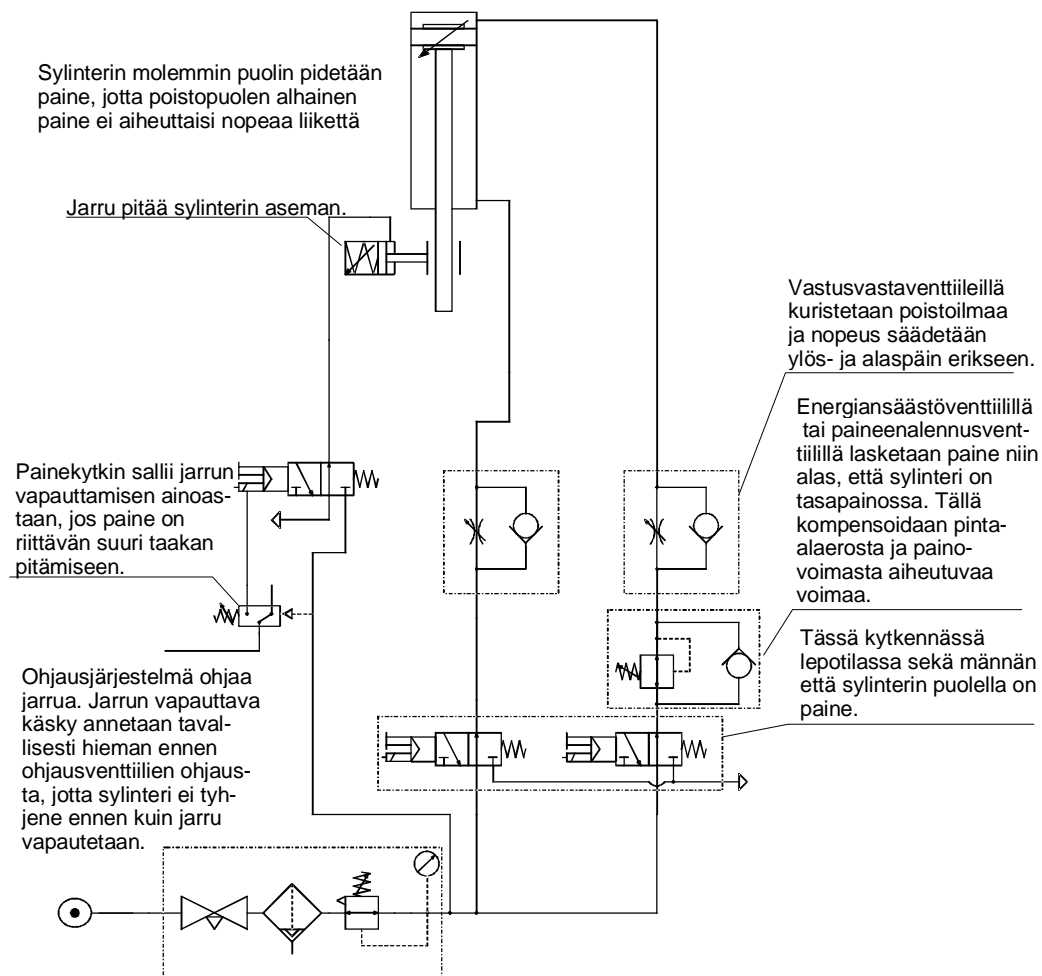


Kuva 17. Esimerkki luokan 4 mukaisesta sylinterin ohjauksesta [Kleinbreuer 1994].

4.3 ESIMERKKEJÄ PYSÄYTYSTAVOISTA

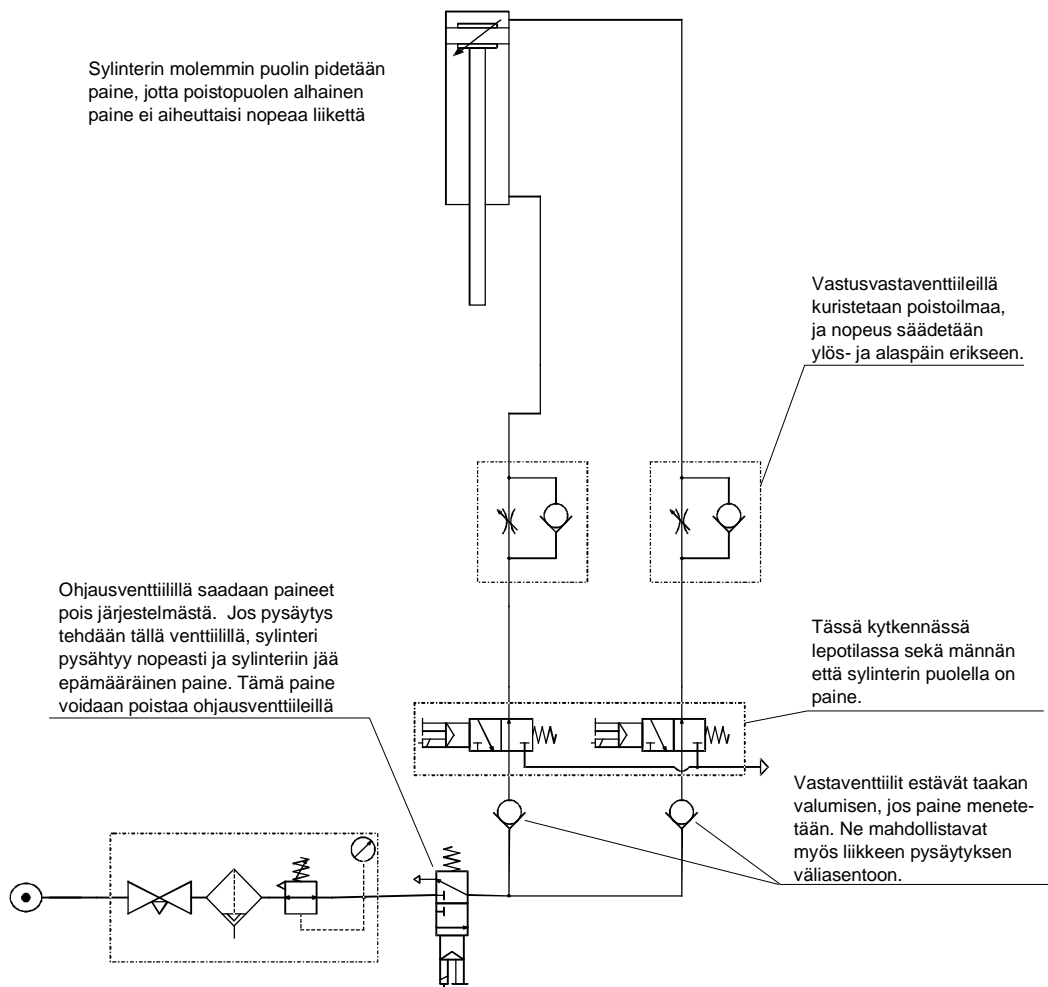
Kuvassa 18 on esitetty jarrun käyttöä kytkennässä, jossa jarru tehostaa pysäytystä, parantaa asemointitarkkuutta ja auttaa vahinkokäynnistyksen estossa. Jarru ei vapaudu (painekytin valvoo), jos käyttöpaine on liian alhainen ja akseli saattaisi liikkua painovoiman vaikutuksesta alaspäin, vaikka ohjauskomento olisi ylöspäin.

Ohjausjärjestelmä (esim. ohjelmoitava logiikka) ohjaa jarrun auki hieman ennen kuin ohjausventtiili toimii, jotta sylinteristä ei pääse paine pois ennen liikkeen alkamista. Jos poistupuolen paine on alhainen ennen liikkeen alkua, on seurauksena normaalia nopeampi liike. Letkurikkotilanteessa järjestelmän paine laskee nopeasti (varsinkin jos vastusvastaventtiilit ja energiansäästöventtiilit ovat sylinterissä kiinni), minkä seurauksena painekeytkin päästää ja jarru toimii. Painekeytkimeltä voidaan tieto viedä myös sulkuventtiilille, joka katkaisee painesyötön. Kaikki jarrut tai asennonpitimet eivät sovellu jarruttavaksi elimeksi vaan asennon pitämiseen. Laitteen toimittaja tuntee laitteen käyttötarkoituksen. Kuvan esimerkki kuuluu paineilman osalta standardin SFS-EN 954-1 mukaiseen luokkaan 3.



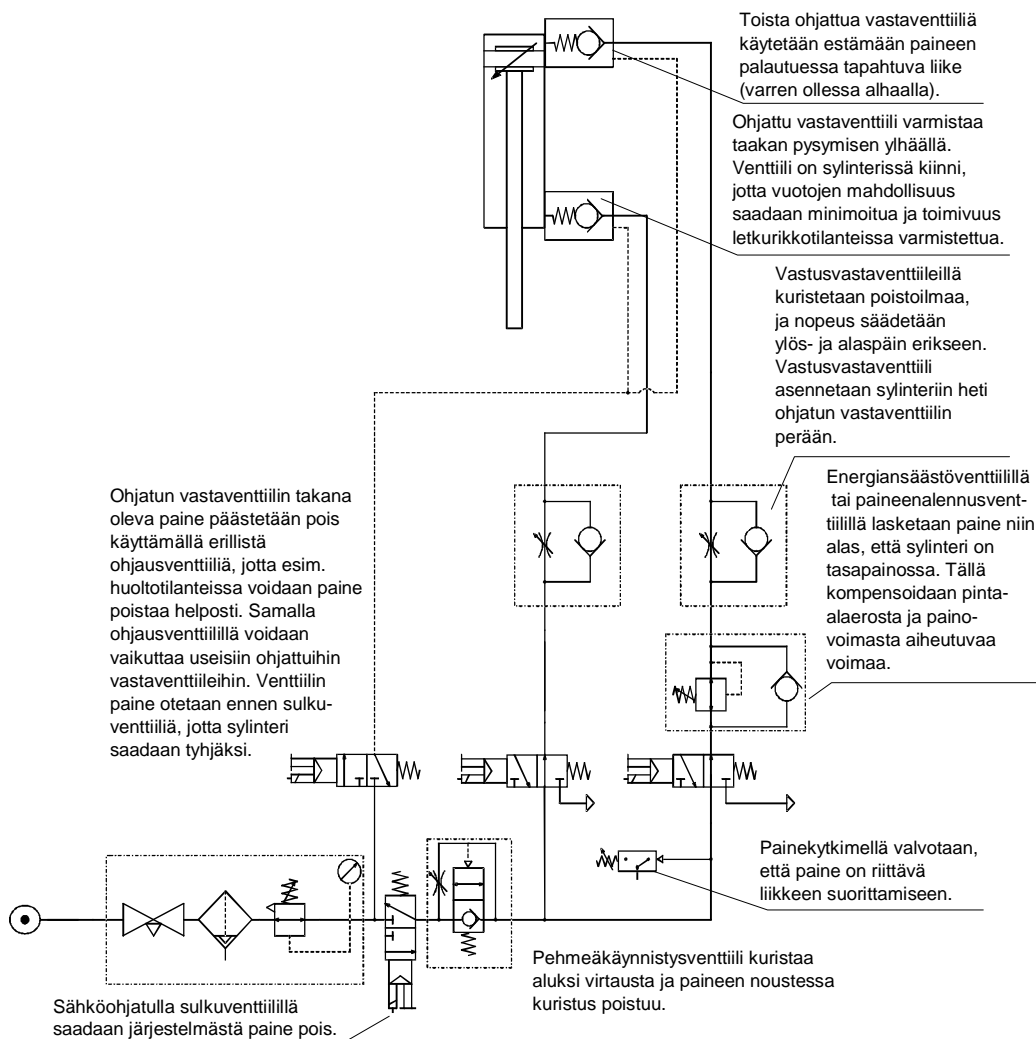
Kuva 18. Esimerkki jarrun käytöstä pneumaattisessa järjestelmässä.

Kuvan 19 esimerkissä poistetaan järjestelmästä paine ja vastaventtiilit pysäyttävät liikkeen nopeasti sylinterin voimien tasapainottuessa. Menetelmä estää liikkeet myös silloin, kun verkostopaine menetetään äkillisesti [Hulkkonen 1991]. Sylinteriin jää tällöin epämääräinen paine, joka voi aiheuttaa yllättävän liikkeen uudelleenkäynnistyksessä.



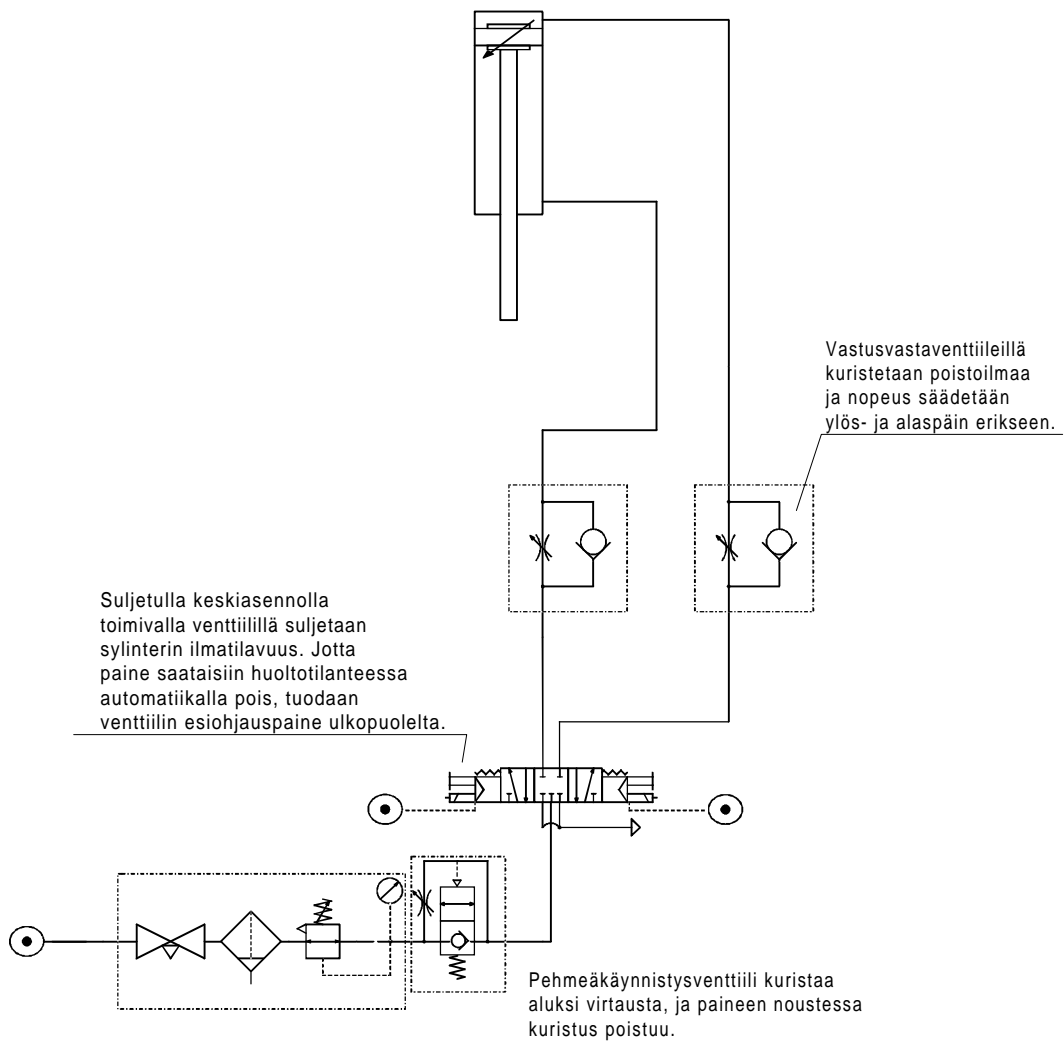
Kuva 19. Kuvan esimerkissä saadaan sylinteri pysähtymään heti poistamalla paine.

Kuvan 20 esimerkissä käytetään ohjattuja vastaventtiilejä ja ohjausventtiilejä liikkeen pysäytyksessä. Ohjattua vastaventtiiliä on käytetty sekä sylinterin että varren puolella, jotta paineen palautuessa akseli ei liikkuisi ja toisaalta jotta pysähtyminen olisi nopea. Varren puoleinen vastaventtiili varmistaa lisäksi taakan pysymistä ylhäällä. Ohjattuja vastaventtiilejä ohjataan erillisellä ohjausventtiilillä, jotta paineen purku olisi helppoa huoltotilanteissa. Kuvan esimerkki kuuluu paineilman osalta luokkaan 3. Ohjatut vastaventtiilit, vastusvastaventtiilit ja energiansäästöventtiili kytketään toisiinsa kiinni ilman letkua, jotta saadaan minimoitua mahdollisen letkurikon aiheuttama vahinko ja toisaalta pienennetään letkurikon todennäköisyyttä (koska letkuliitoksia on vähemmän).



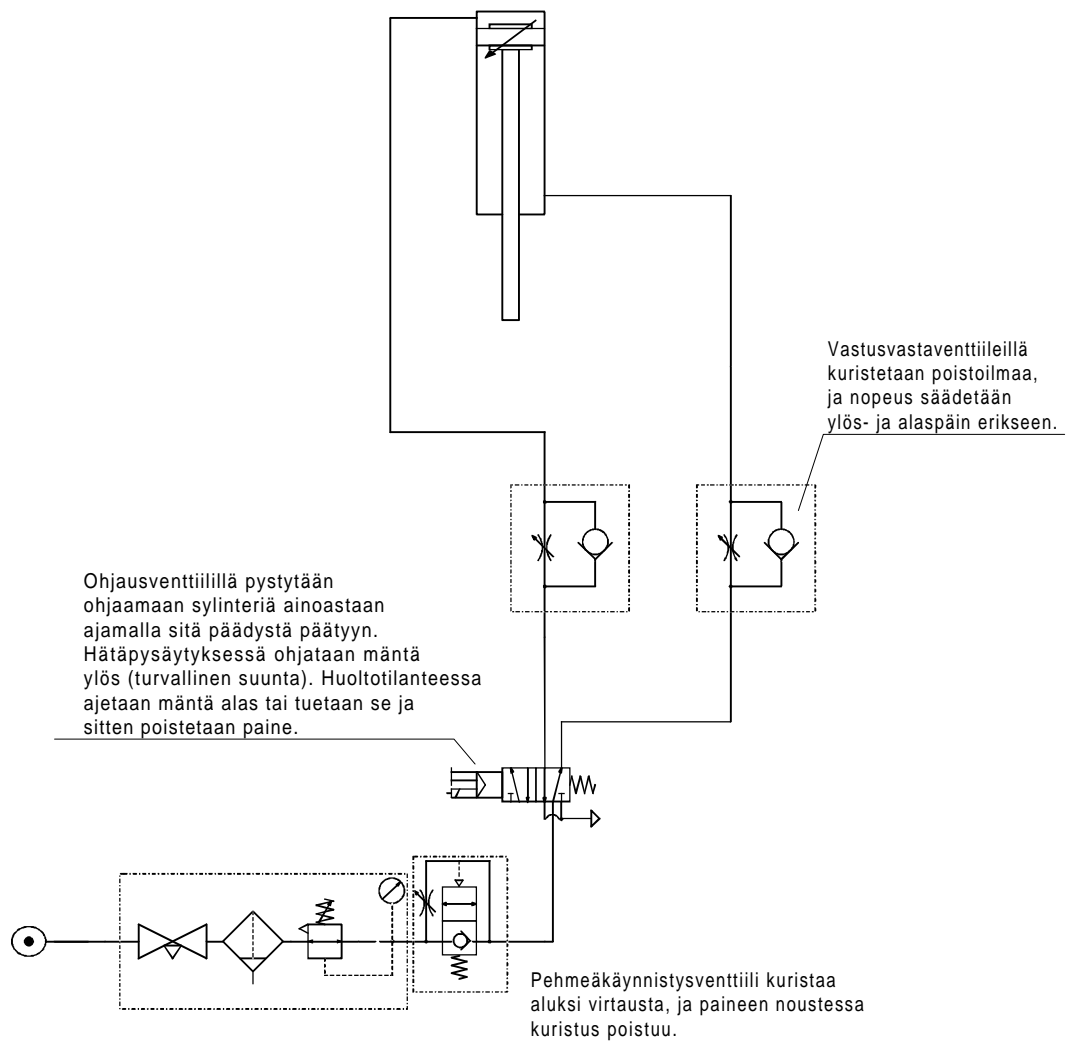
Kuva 20. Esimerkki tavallisten turvallisuutta parantavien komponenttien käytöstä. Varsinaisessa kytkennässä ohjatut vastaventtiilit, vastusvastaventtiilit ja energiansäästöventtiili kytetään toisiinsa ilman letkua.

Kuvan 21 esimerkissä käytetään ohjauksessa 5/3 venttiiliä suljetulla keskiasennolla. Pysäytystilanteessa suljetaan sylinterin ilmatilavuus. Huoltotilannetta varten on paineilma mahdollista poistaa sylinteristä käyttämällä ulkopuolista esiohjauspainetta. Jos ei käytettäisi ulkoista esiohjauspainetta, sylinterin paine ei tyhjäntyisi sähköohjauksilla kokonaan, koska kara ei poistu keskiasennosta ilman esiohjauspainetta. Kytkennässä paine on kuitenkin aina mahdollista purkaa käsiohjauksella suoraan venttiilistä. Hätäpysäytyksen jälkeen sylinterissä on normaalia alhaisempi paine varsinkin, jos liikenopeus on ollut suuri pysäytyksen tulla kesken liikettä. Koska paine on normaalia alhaisempi, uudelleenkäynnistyksessä vastusvastaventtiili ei hidasta nopeutta yhtä hyvin kuin normaalilla paineella, mistä seuraa normaalia nopeampi liike. Tätä tilannetta on parantamassa pehmeäkännistysventtiili, joka hidastaa aluksi liikettä.



Kuva 21. Männän liikkeen pysäyttäminen toteutetaan kuvassa sulkemalla sylinterin ilmatilavuus.

Kuvan 22 esimerkissä hätäpysäytyksessä varsi ohjataan ylös. Näin voidaan tehdä, jos riskinarvioinnissa päätellään, että liikkeestä ylöspäin ei ole vaaraa. Kytkenässä vartta ei saada pysähtymään väliasentoon keskelle sylinteriä. Paluuliike saadaan kytkenässä alkamaan nopeammin, kuin liike pystytään pysäyttämään jarruttomilla muilla kytkenöillä. Jos paluuliike kuitenkin on niin vaarallinen, että se lasketaan pysähtymisaikaan, on pysähtymisaika pidempi kuin useimmilla muilla kytkenöillä. Huoltotilanteessa varsi ajetaan ala-asentoon tai se tuetaan ennen, kuin paine poistetaan. Kuvan kytkentä on standardin SFS-EN 954-1 mukaista luokkaa B, mutta komponenttivalinnalla se voidaan saada luokkaan 1 ja luokkaan 3 lisäämällä esim. ohjattu vastaventiili (erillinen ohjaus) ja sähköistä valvontaa.



Kuva 22. Varren vaarallisen liikkeen kääntäminen vaarattomaksi paluuliikkeeksi.

5 PÄÄTELMIÄ

Työturvallisuuslain muutoksen, tuoteturvallisuusdirektiivin ja konedirektiivin vaikutuksesta on suunnittelijalle siirretty paljon vastuuta koneen turvallisuudesta. Turvallisuuksuunnittelun tueksi tullaan laatimaan paljon standardeja (mm. konedirektiiviin liittyviä standardeja n. 600). Näiden vaikutuksesta suunnittelussa on otettu turvallisuustekijät huomioon entistä paremmin. Suunnittelu on muuttunut siten, että suunnittelija veloitetaan ottamaan huomioon myös koneen muut vaiheet kuin normaali toiminta. Siten suunnittelijan tulee suunnitella menetelmät myös koneen asennukseen, korjaukseen, häiriönpoistoon sekä käytöstä poistoon.

Pneumatiikalla toteutetussa automaatiassa tapaturmien määrä ei ole ollut vähenemässä, vaikka turvallisuussuunnitteluun on kiinnitetty aiempaa enemmän huomiota. Tapaturmia sattuu eniten häiriönpoisto- ja korjaustilanteissa. Merkittävimpana tapaturman syynä on ollut odottamaton käynnistyminen. Odottamattoman käynnistymisen estoon pneumatiikassa tarvitaan monenlaisia keinoja, koska useissa pysäytystilanteissa paineilmajärjestelmään jää varastoitunutta energiaa. Selkein keino tapaturmien välttämiseen on riittävä suojaus, sillä riittävällä suojauksella olisi joka toinen tapaturma voitu välttää. Lähes joka viidennessä tapaturmassa oli sähköt kytketty pois, mutta kriittiseen kohtaan järjestelmässä oli kuitenkin jäänyt paine. Siten esim. hätäpysäyttimen painaminenkaan ei ole poistanut järjestelmän vaaratekijää. Puutteellinen suunnittelu on ollut tekijänä 36 %:ssa tapaturmista. Suunnitteluun tulee siis kiinnittää huomiota entistä enemmän. Erityisesti häiriönpoistoon ja korjaustilanteisiin pitää suunnittelijan esittää keinoja, jotta käyttäjän ei tarvitse improvisoida ja käyttää mahdollisesti vaarallista työmenetelmää.

Turvallisuuteen liittyviä ohjausjärjestelmän osia on luokiteltu standardissa SFS-EN 954 - 1. Luokittelun tarkoituksena on helpottaa ohjausjärjestelmien osien määrittelyä ja vertailua. Eniten tätä luokittelua on tehty sähkömekaanisille komponenteille ja elektroniikalle mutta melko paljon myös ohjelmoitaville järjestelmille standardiluonnoksen IEC 61508 mukaan. Paineilmajärjestelmille ohjausjärjestelmän luokkamäärittelyt ovat olleet vielä harvinaisia. Luokittelu tulee ensimmäiseksi turvallisuuskriittisiin sovelluksiin. Kriittisimpiä paineilmalla toimivia kohteita ovat mm. paineilmapuristimet ja prosesseissa käytettävät venttiilien asennoittimet.

Pneumatiikkajärjestelmät ovat viime vuosina muuttuneet entistä kompaktimmiksi mm. yhteen koottujen venttiilipakettien (venttiiliterminaalien) ja kenttäväylien ansiosta. Asennustyö helpottuu ja suunnittelijankin työ vähenee johdotusten vähenemisen myötä. Turvallisuuden kannalta tästä kehityksestä on sekä etua että haittaa. Haittana on se, että suunnittelun helpottuessa yhden kohdan suunnitteluun käytetään entistä vähemmän aikaa ja kuitenkin järjestelmät muuttuvat yhä laajemmiksi ja monimutkaisemmiksi. Hyvänä puolena on se, että kompakteissa rakenteissa on jo valmiina monia erityisesti luotettavuuteen liittyviä tekijöitä.

Hankkeessa todettiin, että automaation turvallisuudessa riittää vielä tutkittavaa. Uusia aiheita ovat mm. automaatiojärjestelmien itsediagnostiikan kehittäminen, paineilmajärjestelmien ilmankulutuksen vähentäminen, väylätekniikoiden turvallisuustekijät, pneumatiikkakomponenttien integrointi, hätä-seis-pneumatiikka-venttiilin kehittäminen samaan tapaan kuin sähkötekniikassakin, ohjeistojen laadintaa tukeva multimediaohjelman (tai vastaavan) kehittäminen, laaja selvitys käyttäjien kokemuksista automaatiosta ja lisää esimerkkiratkaisuja turvallisista piirirakenteista.

LÄHDELUETTELO

Fonselius, J., Hautanen, J., Mutikainen, T., Pekkola, K., Salmijärvi, O. ja Simpura A. 1997. Pneumatiikka. 8, uudistettu painos. Helsinki: Edita. 166 s. ISBN 951-37-2225-2.

Hulkkonen, V. 1988. Pneumatiikka 1. 5. painos. Helsinki: Otava, AEL:n ammattikirjoja n:o 68. 219 s. ISBN 951-1-04237-8

Hulkkonen, V. 1991. Pneumatiikka 2. 1. - 2. painos. Helsinki: Otava, AEL:n ammattikirjoja n:o 72. 185 s. ISBN 951-1-04933-X

ISO 8573 - 1 1991. Compressed air for general use - Part 1: Contaminants and quality classes. Genève: International Organisation for Standardization. 8 p.

Kleinbreuer, W. 1994. Anwendung der Kategorien nach prEN 954-1 auf fluidtechnische Steuerungen. Ölhydraulik und Pneumatik 9, s. 532 - 536.

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

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

Malm, T. 1994. Pneumaattisten robottien turvallisuus. Espoo: VTT Tiedotteita 1599. 45 s. + liitt. 6 s.

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

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. 120 s. ISBN 951-817-667-1

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

Pneumatiikan perusteet 1979. Esslingen: Festo Didactic oppikirja. 200 s. ISBN 951-99202-6-9

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 1995. Safety of machinery - The positioning of protective equipment in respect of approach speeds of parts of the human body. CEN/TC 114. 18 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 418. 1993. Koneturvallisuus. Häätäpysäytyslaitteisto, toiminnalliset näkökohdat. Suunnitteluperiaatteet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto. Yhdenmukaistettu OJ No C 229, 25.8.93. 13 s.

SFS-EN 528. 1996. Hyllystöhissit. Turvallisuus. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto. 64 s.

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

SFS - EN 983. 1996. Koneturvallisuus. Hydraulisten ja pneumaattisten järjestelmien sekä niiden komponenttien turvallisuusvaatimukset. Pneumatiikka. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto. 40 s.

SFS-EN 954 - 1. 1996. Koneturvallisuus. Turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmien osat. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto. 64 s.

SFS-EN 1037. 1996. Koneturvallisuus. Odottamattoman käynnistyksen estäminen. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto. 32 s.

SFS-EN 1088. 1996. Koneturvallisuus. Suojusten kytkentä koneen toimintaan. Suunnittelu ja valinta. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto. 60 s.

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

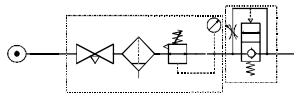
TARKASTUSLISTA PNEUMATIIKKAJÄRJESTELMIEN TURVALLISUUSUUNNITTELUUN

Dokumentointi ja riskinarviointi



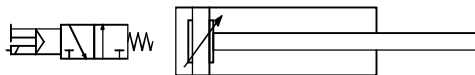
- Onko koneeseen liittyvät vaarat tunnistettu? Kirjataan kaikki vaaraa aiheuttavat tekijät, vaaratekijäluettelo saadaan konekohtaisesta standardista (jos on olemassa), muutoin käytetään standardin EN 1050 tai EN 983 luetteloa.
- Onko riskien suuruus arvioitu? Kirjataan, kuinka suuren riskin kukin vaaratekijä aiheuttaa.
- Onko riskien merkitys arvioitu? Kirjataan, mitä keinoja tarvitaan riskin minimoimiseksi.
- Onko käyttöohjeissa huomioitu tarvittavat asiat (vrt. SFS-EN 292 ja MET integraatitiedote 22)?
- Onko ihmisen pääsy vaara-alueelle estetty; entä riittävät turvaetäisyydet (EN 294, prEN 999), turvavälit (EN 349), liikkuvien osien vaarallisuus, pyörivien osien suojaus?

Ilma



- Onko ilman laatu riittävä kuten paine, paineen vaihtelu, kosteus, lika, öljy (ISO 8573, Pneurop suositus 6611/84)? Mikäli suodatuksen heikentyminen voi aiheuttaa vaaraa tai suuria ongelmia, tarvitaan suodattimiin likaisuuden osoitus? Pitääkö paineilman tuottojärjestelmää parantaa?
- Onko paineilman määrä riittävä (kompressorin kapasiteetti)? Riittääkö paineilma aina liikkeiden oikeaan toteutumiseen?
- Onko varmistettu ettei painetaso nouse yli sallitun esim. massavoimien johdosta (tarvitaanko varoventtiiliä)?
- Onko varmistettu etteivät paineen lasku tai vuodot aiheuta vaaraa? Toteutuvatko liikkeet oikein?
- Onko varmistettu, että ilman poisto järjestelmästä ei aiheuta vaaraa, kuten melu (äänenvaimennin) tai puhallus ihmistä päin?

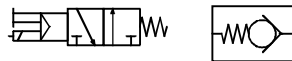
Komponentit



- Onko komponenttien valmistajien asettamia rajoituksia noudatettu?
- Onko sylinterin mitoituksessa huomioitu riittävällä varmuudella (sopiva yli- mitoitus) voima, kohtuullinen ilmankulutus, sopiva nopeus, riittävä nurjahdusvarmuus, onko päätyvaimennus riittävä käytetyillä massoilla ja nopeuksilla, kestääkö sylinteri sen kiinnityksiin kohdistuvat voimat ja momentit?
- Onko varmistettu, ettei sylinteriin kohdistu sivuttaisvoimia eikä taivutusmomenttia? Onko jalkakiinnityksessä vältetty leikkausvoimia?
- Aiheuttavatko muutokset toimintaparametreissa vaaraa, onko tarpeen antaa tästä selkeä varoitus?

- Onko ympäristöolosuhteet otettu huomioon, kuten pakkanen (ilman kosteus, komponenttien kesto), kuumuus, pöly, palo tai räjähdysvaaralliset tilat (mm. ex-komponentit), syövyttävät aineet ja tärinä?
- Onko kuhunkin tehtävään valittu sopivantyyppinen komponentti? Onko venttiilin tilan säilyminen sähkökatkoksissa tarpeen (bistabiilit; kaksikelaiset venttiilit)? Onko tarvittavat toiminnalliset tekijät huomioitu valinnoissa: venttiilin valinta (vuodon mahdollisuus huomioitu pystyliikkeissä), liittimien valinta (vuodon tai irtoamisen mahdollisuus huomioitu), letkun valinta (taivutuskestävyys, materiaali, suojuksen tarve)?
- Onko huoltoyksikössä seuraavat komponentit: paineen säädin, vedenerotin (automaatti vai käsityhjennys), suodatin, sulkuventtiili?
- Tarvitaanko järjestelmään seuraavia komponentteja: pehmeäkäynnistysventtiili, painevahti (valvoo, että paine on riittävä), sähköohjattu sulkuventtiili, sumuvoitelulaitteet, suodattimen likaisuuden ilmaisu?
- Onko putkistot suojattu ennakoitavissa olevien vahinkojen varalta (riittävästi kannakkeita, käyttö tikkaina jne.)?
- Pääsevätkö kaapelit tai letkut liikkumaan jossain kohdassa? Voidaanko liikettä välttää ja onko liikkuminen otettu huomioon materiaalivalinnoissa? Ovatko letkuliitokset tarkoituksenmukaiset (liittimen ja letkun yhteensopiavuus, liitoksen laatu)?

Ohjaukset



- Onko koneessa ohjausjärjestelmän luotettavuudesta riippuvia vaaroja, joissa ohjausjärjestelmän osan tulee olla standardin EN 954-1 (muun kuin B) luokan mukainen? Täytyvätkö riskinarvioinnissa valitun luokan (SFS-EN 954-1) vaatimukset?
- Onko laitteen turvallinen tila sellainen, jossa venttiili asettuu turvalliseen tilaan (jousen välityksellä) sähkön katkettua (kuitenkin esim. taakan ylhäälläpysymistä ohjataan yleensä venttiilillä, joka ei vaihda tilaansa sähkön syötön katketessa)? Toisin sanoen on päätettävä tapauskohtaisesti, onko mono- vai bistabiili venttiili turvallisempi ja luotettavampi.
- Ovatko tahattomat vaaralliset liikkeet estetty? Voiko alhainen paine aiheuttaa liikkeen väärään suuntaan?
- Onko sekvenssiohjauksessa käytetty paikkaan perustuvaa tietoa ajan sijaan, kohteissa, missä se on mahdollista?
- Jos servo- tai proportionaaliohjattu toimilaitte voi virhetoiminnan seurauksena aiheuttaa vaaraa, onko olemassa keinoja pitää laite turvallisessa asemassa tai ohjata se sellaiseen? Tarvitaanko proportionaaliventtiiliin paineen takaisinkytkentää?
- Voiko käynnistyksessä syntyä yllättäviä liikkeitä (sylinterin ollessa aluksi paineeton, pitkä sylinteri), tarvitaanko pehmeäkäynnistysventtiiliä?
- Tarvitaanko painevahtia valvomaan, että paine on riittävä? Voiko liikkeen puuttuminen aiheuttaa vaikeasti purettavan häiriön?
- Onko saavutettu voima liian suuri tarpeeseen nähden? Voidaanko painetta alentaa tai valita pienempi sylinteri (vaara pienenee ja energiaa säästyy)?
- Kestääkö anturointi käytön mukaiset ympäristöolosuhteet? Toimivatko anturit keskeytysten tai muutostilanteiden jälkeen oikein?

Hätäpysäytys, vahinkokäynnistyksen esto



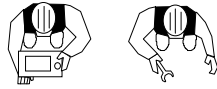
- Paineenerotuskeinoja eri tilanteisiin: katkaistaan paine, katkaistaan ja poistetaan paine, vapautetaan tai tuetaan kuormat, sähköisen ohjauksen erottaminen.
- Kun hätäpysäytintä painetaan sähköisen katkaisun lisäksi, poistuvatko paineet kaikista sellaisista järjestelmän kohdista, joissa painetta ei tarvita? Onko tarkastettu, mihin toimilaitteisiin ja komponentteihin pysäytystilanteessa jätetään paine ja mistä paine poistetaan?
- Saako ilman automaattisesti pois järjestelmästä? Miten huoltoa varten saadaan kaikki paineet pois (esim. ohjattujen vasta-venttiilien takaa)? Pystytäänkö laite ajamaan täysin paineettomaksi (tarvitaanko ulkoista esiohjauspainetta)? Onko ilmasäiliöiden tyhjennys helppoa? Tarvitaanko ulkopuolisia tukitoimenpiteitä toimilaitteille (tuki tai kiila)?
- Hätäpysäytyksessä tavallisesti pysäytys ohjataan suoraan (ei logiikan kautta) kaikkiin toimilaitteisiin, laite pysäytetään ja otetaan paineet kaikkialta pois. Paineet voidaan jättää esim. taakan ylhäälläpitoon, mutta huoltoa varten pitää kaikkialta voida poistaa paineet.
- Onko taakan pysyminen ylhäällä varmistettu? Onko käytetty ohjattua vasta-venttiiliä tai jarrua? Onko mahdollisen mekaanisen tuen käyttö helppoa?
- Voiko liikkeen suoritusnopeus vaihdella? Onko liikkeen suoritusajan automaattinen valvonta tarpeen? Ovatko vastus(vasta)venttiilit tarkoituksenmukaisissa paikoissa, ja onko ilmansyöttö riittävä? Voiko liikkeen alku myöhästyä normaalista huomattavasti (alhainen paine ja liike sallitaan vasta, kun riittävä paine saavutetaan)? Ihminen saattaa turhaan aloittaa häiriönpoistoa (vaaratilanne), jos toiminta vaihtelee.
- Onko ohjausvivut ja painikkeet sijoitettu siten, että ihminen ei tahattomasti vaikuta niihin?
- Onko hätäpysäytin ainakin kaikilla ohjauspaikoilla ja tarvittavissa työpisteissä? Pysäyttääkö hätäpysäytin laajoissa järjestelmissä tarkoituksenmukaisen alueen?

Häiriönpoisto



- Onko häiriöiden poistoon selviä menetelmiä, jotta käyttäjän ei tarvitse keksiä itse keinoja?
- Onko viat helppo paikantaa? Ovatko ilman poistoaukot riittävän isoja? Tarvitaanko paineen ilmaisua?
- Onko toiminta häiriötilanteissa ohjeistettu käyttöohjeisiin (huolto-ohjeisiin) ja tarpeelliset varoitukset lisätty koneeseen?
- Jos sylinterin liike jää kesken esteen vuoksi, niin koneen käyttäjän saapuessa poistamaan estettä onko esteen poistaminen turvallista? Poistuvatko paineet automaattisesti häiriön ilmetessä tai poistuvatko paineet ihmisen vaikuttaessa turvalaitteeseen?
- Onko liikkeillä aikavalvonta (esim. liian hidaskäyttö liike poistaa paineet automaattisesti)?

Huoltotilanne, korjaus,



- Onko ohjekirjoissa ohjeet järjestelmälliseen vianhakuun?
- Päästäänkö kaikkien huoltoa tarvitsevien komponenttien luo helposti tekemään huolto- ja säätötyöt?
- Onko määräaikaista huoltoa tarvitsevat komponentit selvitetty ohjekirjoissa?
- Voiko pysäytystilanteessa jäädä paine johonkin järjestelmän osaan? Varoitetaanko tästä riittävästi?
- Tarvitaanko huoltotilanteita varten käsiajoa (venttiileissä käsiajomahdollisuus)?
- Onko paineilmaisimia riittävästi?
- Tarvitaanko järjestelmään vikadiagnostiikka, joka nopeuttaa vian etsimistä ja korjausta ja helpottaa käyttäjän päätöksentekoa siitä, kuka kutsutaan korjaamaan ja mitä varaosia tarvitaan mukaan, sekä ennakoi tulevia huoltotarpeita?

Käyttökoulutus



- Onko käyttäjien koulutus riittävää? Onko huoltohenkilökunnan koulutus riittävää?
- Annetaanko käyttäjille tietoa riittävän selkeässä muodossa? Ovatko uudet tekniikat, kuten multimedia, videot ja internetin WWW-sivut, tarpeen koulutuksessa?
- Onko vaihtuvien käyttäjien riittävä koulutus varmistettu?
- Onko turvallisuus riittävä myös koeajossa, koulutuksessa yms. käytössä ennen varsinaista tuotantoa?
- Tuleeko koulutuksessa riittävästi esiin toiminta erikoistilanteissa? Kerrotaanko mahdollisista vaaroista riittävästi?

HAASTATTELUTUTKIMUKSEN TULOKSET

LAITTEEN NIMI: Yhteenveto vastauksista, lisätty valmistajien kommentteja. Suorakulmioissa käyttäjien vastaukset tilastoina.

VASTAAJAN NIMI JA TEHTÄVÄ: Mm. käyttäjä, kunnossapidosta vastaava, tehdaspalveluinsinööri, suunnittelija, työnjohtaja

YRITYS: 11 vastausta käyttäjiltä (suorakulmioissa) + 5 kommenttia valmistajilta (suoraa tekstiä kysymyksen jälkeen)

YLEISTÄ JÄRJESTELMÄSTÄ

- Mikä on verkkopaine?
Muut painetasot järjestelmässä?

6	6,5	8	7	7,5	7	7
7,5	6,5	6	7,5			

Keskiarvopaine on hieman odotettua korkeampi; keskiarvo on noin 7 baria. Tämä tarkoittanee verkkopainetta. Jos järjestelmissä käytetään korkeaa painetta, energiankulutus kasvaa, säädöt vaikeutuvat ja nopeudet vaihtelevat kuormituksen mukaan. Järjestelmäpaine on yleensä 5 - 6 bar asiakkaan toivomusten mukaan. Paine saattaa olla kriittinen esim., kun kannatellaan raskasta taakkaa. Taakka saattaa pudota, jos paine on liian alhainen. Myös pystyliike saattaa epäonnistua, jos paine on liian alhainen. Alennettua painetta käytetään usein esim. puristettaessa tai otettaessa kiinni puristusotteella.

- Mitkä ovat järjestelmän suurimmat liikenopeudet ja voimat tai ovatko nopeudet ja voimat vaarallisia?

Useimmissa tapauksissa pneumaattisten akselien liikkeet ovat vaarallisia. Tämä on odotettua.

1 liikkeistä ei vaaraa, 8 voimat tai nopeudet vaarallisia
--

- Käytetäänkö jollakin akselilla useita nopeuksia tai esim. servo- tai proportionaalitekniikkaa?

Pneumatiikan tarkkaan hallintaan pystyvät tekniikat olivat kyselyssä harvinaisia.

Servoja on kokeiltu ja toiminnassa ei ole ollut suurempia moitteita. Yleensä toimintaa verrataan sähköservoihin. Pneumaattinen

servo pitää hieman kovempaa ääntä ja servon virittäminen vie aikaa. Myös asiakas voi joutua tekemään virittelyä taakan mukaan. Jos viritykset eivät ole aivan kunnossa, järjestelmä hakee pienen hetken oikeaa asemaa.

1 käyttää servotekniikkaa, 1 käyttää jarrutuksissa hidastettua nopeutta (?) (kaksi venttiiliä, joista toisessa kuristus tai jokin päätyvaimennus?)

Servoja käytetään kireyden säätöön (pieniä voimia). Asiakas voi tehdä itse säädön. Paikoituksessa voidaan käyttää kahta nopeutta siten, että nopeutta lasketaan lähestyttäessä pysähdyskohtaa.

- *Käytetäänkö ohjausjärjestelmässä paineilmalogiikkaa? ohjelmoitavaa logiikkaa? toimilaitteväyliä?*

Pääsääntöisesti käytetään ohjelmoitavaa logiikkaa. Paineilmalogiikkaa on voitu käyttää yksinkertaisissa osissa, joihin ei tule sähköä.

1	käyttää vanhoissa koneissa paineilmalogiikkaa.
2	käyttää toimilaitteväyliä.

Toimilaitteväylät yleistyvät laajoissa järjestelmissä, mutta niissäkin on ongelmansa:

Erilaisia väyliä on paljon ja niiden opettelu vie aikaa, input-puolelle halutaan yleensä jättää jännitteet hätäpysäytyksessä. Energian syötön järjestelyissä hätäpysäytystilanteessa on oltava tarkkana siitä, mihin voidaan jättää jännite. Laittevikoja on vaikea korjata ilman asianmukaisia työkaluja.

Väylän käyttö kannattaa usein, kun etäisyydet ovat yli 25 m (tämä raja-arvo tulee ilmeisesti hintojen laskiessa pienenemään hieman). Väylää käytettäessä asennus- ja kaapelikustannukset ovat pieniä. Perinteisessä johdotuksessa laitekustannukset ovat pieniä, ei ole kaapelointiin (väylään) liittyviä ohjelmointikustannuksia, laitteen pystyy korjaamaan kuka tahansa ammattitaitoinen asentaja (tämä on usein asiakkaalle tärkeää) ja järjestelmän toiminta on helpompi mieltää.

YLEISTÄ

- *Onko järjestelmälle tehty riskinarviointi tai turvallisuusselvitys järjestelmän toimituksen jälkeen?*

Riskinarviointi on nykyisin laite-toimittajan tehtävä (kokonais-toimittaja on usein myös käyttäjä), mutta toisaalta työnantajan pitää taata työpaikan turvallisuus.

1	on,
2	työsuojelutarkastus,
1	käyttönottotarkastus

Työsuojelutarkastuksia on saatettu tehdä useammassakin kohteessa, vaikka niitä ei ole vastauksissa muistettu.

Laitetoimittaja tekee riskinarviointia yleensä useassa vaiheessa. Jo tarjousvaiheessa pitää arvioida, mitä turvallisuusteknisiä ratkaisuja tarvitaan (ne hinnoitellaan), sitten suunnitteluvaiheessa tarkennetaan tapausta ja lopuksi pidetään lopputarkastus.

- *Onko järjestelmässä turvallisuusriskejä?*

Vastaukset ovat olleet lyhyitä, mutta turvallisuutta on ilmeisesti monissa kriittisissä kohteissa parannettu suoja-aidoilla ja suojuksilla.

4 on,
2 pieniä,
3 ei,
2 ei vastausta
liikkeen suoritus estyy,
turvallisuutta parannettu suoja-aidoilla ja suojuksilla.

Monissa kohteissa on huoltoon, korjaukseen, häiriönpoistoon ja tavaran tuontiin sekä poistoon

liittyviä riskitekijöitä, vaikka kaikki eivät niitä välttämättä huomaakaan.

Laitetaan ovi kiinni, kun joku on vaara-alueella.

Lavakuljettimissa lavan liikkua, lavan ja rullan (puristumis) väli. Mikä on tarvittava turvallisuustaso?

- *Onko vaaralliselle alueelle pääsy rajattu esim. aidoilla, koteloilla tai turvalaitteilla?*

Puutteita on erityisesti vanhoissa järjestelmissä.

Valoverhoja ja valokennoja on käytetty vähän

(vahinkopysäytykset?). Nykyään automaattikoneet suojataan esim. aidoilla.

Joissain kohteissa on käytetty sisäänpääsypyyntöä. Tällöin automaatiojärjestelmä voidaan pysäyttää sopivaan kohtaan ja tuotantoa voidaan jatkaa nopeasti.

1 huput + rajakytkimet,
4 osittain aidattu,
5 aidat ja kotelot,
1 valokennot

YLEISTÄ PNEUMATIIKASTA

- *Onko havaittu mitoitusvirheitä tai suunnitteluvirheitä (esim. tuotto, nopeus tai voima arvioitu väärin tai letkut kuluvat tai eivät kestä taivutusta)?*

Alussa on tehty tarpeelliset korjaukset ja korjaukset pyritään tekemään ennen kuin laite menee asiakkaalle. Letkujen sijaintiin tulisi suunnittelussa kiinnittää enemmän huomiota, jotta ne eivät rikkoutuisi niin helposti.

Pikaliitin (pistoliitin) pääsee hieman liikkumaan paineen

vaihdellessa, mikä aiheuttaa kulumista, jonka seurauksena syntyy vuotoja. Pistoliitin toimii, kun letkut ovat suoria eivätkä liiku. Pistoliitimestä on myös hyviä kokemuksia. Ongelmia tulee jos putkilaatu valitaan väärin ja putkeen kohdistuu vääntävä liike.

2 letkut kuluvat,
2 liittimet kuluvat,
1 vuotoja,
1 pikaliittimet huonoja,
1 letkut aroissa paikoissa levyn välissä,
1 sylinteri vaihdettu väärän mitoituksen vuoksi.

PU-letkuja on tarvittu silloin, kun letkut joutuvat pienisäteiselle mutkalle. Suunnittelun virhe on usein se, että tuotetta ei olekaan valmistettu riittävän hyväksi edullisimmalla tavalla.

- *Onko havaittu asennusvirheitä esim. asennuksista johtuvia vääriä toimintoja, vuotoja, osien irtoamisia tai rikkoutumisia?*

Virheet on korjattu alussa. Vuosien varrella syntyy kaikenlaisia kulumisesta johtuvia vikoja, joita kaikkia ei voida pitää asennusvirheinä.

Letkujen irtoaminen pikaliittimistä, sylinterin sivuttaiskuorma kuluttaa tiivisteet, ongelmia pikaliittimissä, vuotoja.

- *Ovatko ympäristöolosuhteet vaikuttaneet haitallisesti pneumaattikan toimintaan (esim. pakkanen, UV-säteily letkuihin, kosteus, lika, öljy, syövyttävät aineet)?*

Ongelmat vaihtelevat kohteiden mukaan. Uusilla laitteilla on monista ongelmista (kosteus ja öljy) päästy eroon. Pesuaineet ja/tai painevesi ovat päässeet tiivisteiden ohi sähkölaitteisiin (ongelmaa ei ole vielä ratkaistu). Pakkanen voi aiheuttaa mm.

2 pakkanen,
1 pöly,
1 öljy (ei uuden kompressorin jälkeen),
3 kosteus,
2 pesuaineet,
1 korkeapainepesu

ongelmia voiteluun ja jumiuttaa venttiilin tiettyyn asentoon.

Likaisissa kohteissa tarvitaan suodatin venttiilin sisälle pääsevän ilman suodatukseen. Monilta ongelmilta vältytään, kun asennetaan ryhmäasennussarja kotelon suojaan.

PAINEILMAN TUOTTO

- *Onko käytettävä ilman laatu riittävä, onko verkon mitoitus oikea, toimitetaanko koneita kohteisiin, joissa verkkopaine on alhainen (esim. alle 4 bar) tai vaihtelee huomattavasti, tarvitaanko näissä kohteissa erikoisjärjestelyjä?*

Paineilman laatu on ollut tyypillisesti hyvä.

Valmistajan olisi hyvä määritellä, mikä on paineilman kulutus (normaali ja maksimi), jotta tiedettäisiin, riittääkö paineilma ja tarvitaanko painesäiliötä. Normaalikulutus voi olla tärkeä tieto energiankulutusta laskettaessa.

– Kompressorin vaihdon jälkeen OK.
– Joissain kohdissa paine laskee 7:stä barista 4:ään bariin, koska järjestelmän mitoitus on vanhoja, mutta tilanne on hallinnassa, kun paineilmasäiliöt tasaavat kuormitushuippuja.

Pystyliikkeissä, imukuppitartunnoissa, tartunnoissa ja painettaessa kuljettimessa jonoa paineen riittävyys on tärkeää virhetoimintojen välttämiseksi.

Tällöin on käytetty painekeytkintä varmistamaan, että ennen toiminnan alkua on riittävä paine toiminnan suorittamiseksi.

- *Toimiiko suodatus hyvin? Aiheuttaako ilman laatu ongelmia, kuten vesi, öljy, ruoste, pöly tai lämpö?*

Vesi on ollut ongelma vanhoissa laitteissa. 2 joskus vesi

Ilmanlaatu voisi olla tärkeä tekijä mainita kaupanteon yhteydessä, jotta voidaan määritellä, kuka maksaa huonosta ilmanlaadusta johtuvista ongelmista.

PAINEEN KYTKEMINEN

- *Tekeekö jokin akseli ylimääräisiä vaarallisia liikkeitä kytkettäessä verkkopaine?*

Yleinen kommentti oli se, että ylimääräiset liikkeet tapahtuvat suljetun aidan takana. Sitä ei ole 7 kyllä,
4 ei

kerrottu, onko vaarat otettu huomioon tilanteessa (esim. huolto), jossa ihminen on aidan sisäpuolella. Monissa kohteissa vaara on siis tunnistettu. Jos akseli liikkuu herkästi, se saattaa liikkua aluksi (paineen ollessa alhaisen) väärään suuntaan. Myös jos akseli on erityisen pitkä ja liike alkaa keskeltä, saattaa liike kulkea hetken väärään suuntaan.

Jännitekatkon jälkeen venttiilit jäävät alkuasentoon, jossa johonkin (potentiaalienergiaa tai sylinteriin painetta) on saattanut varastoitua energiaa. Jos venttiilit voisi palauttaa viimeiseen ohjaukseen, voitaisiin joiltain ylimääräisiltä liikkeiltä välttyä (keinoon toimivuus on tapauskohtaista).

- *Käytetäänkö järjestelmässä jotain keinoja ylimääräisten liikkeiden poistamiseksi (esim. hidaskäynnistysventtiilejä) järjestelmän saadessa verkkopaineen?*

Yleensä ongelmaa ei pidetty suurena (esim. alue on aidattu). 3 käyttää hidaskäynnistysventtiiliä.

Hidaskäynnistysventtiilit ovat yleistyneet hintojen laskiessa. Painevahtia käytetään varmistamaan riittävä paine.

Paineakkua on käytetty riittävän paineenvarmistamiseen kohteessa, jossa kohde on kaukana ja käyttö on vähäistä. Paineakkua on käytetty myös palovien kohdalla varmistamaan tavaran pääsyn pois oven välistä.

- *Aiheuttaako jännitekatko (ja/tai jännitteen palautuminen katkon jälkeen) pneumaattiselle akselille ylimääräisen liikkeen?*

Moni tunnisti ongelman, mutta tyypillisesti ylimääräiset liikkeet sattuvat aidatulla alueella.

4 kyllä

NORMAALI TOIMINTA

- *Tekeekö laite jossain tilanteessa ylimääräisiä, tarpeettomia liikkeitä?*

Ohjelmakierrossa ei normaalisti ole tarpeettomia liikkeitä.

1 sähkökatkokset voivat aiheuttaa.

- *Käytetäänkö joillain akseleilla jarrua (esim. pystyakseleilla)?*

Jarrut ovat harvinaisia. Entistä edullisempia jarruja on tullut markkinoille. Hinta vaikuttaa

1 pystyakselissa.

yleistymiseen. Joissain tapauksissa jarruja on käytetty. Standardiluonnoksen prEN 415-4 mukaan tietyissä tilanteissa pystyliike saa pudota korkeintaan 200 mm. Tässä tilanteessa on käytetty säppejä tai jarruja.

- *Jos verkkopaine katoaa, niin onko pystyakselin ”valuminen” tällöin estetty? Jos on niin miten?*

Pystyakselin ”valumista” ei ole estetty, koska tämä ei kohteissa aiheuta vaaraa. Tavallisesti valumisen estoon käytetään ohjattua vastaventtiiliä.

1 lyhyet matkat ja kevyet massat.

Mekaanista lukitusta on käytetty käsiteltäessä raskaita metallilevyjä. Kappaleeseen tartutaan puristusotteella.

- *Miten ja kuinka pitkäksi aikaa imukuppitartunta on varmistettu verkkopaineen poistumisen varalta?*

Ei ole varmistettu missään sovelluksessa. Kohteissa tilannetta ei pidetty vaarallisena (imukupeilla kannettavat massat kohteissa pieniä).

3 massat pieniä ei tarpeen,
1 ei imukuppeja

Ejektörikäytössä tavallisesti painekeytkin pysäyttää imun, kun riittävä alipaine saavutettu, tartunta pysyy useita minutteja. Suurilla massoilla käytetään usein mekaanista tarttujaa.

- Käytetäänkö järjestelmässä viiveitä esim. peräkkäisten toimintojen toteuttamisessa?

Monenlaisia tapoja on käytössä. Standardissa EN 983 suositellaan antureiden käyttöä viiveiden sijaan sekvenssiohjauksessa, mutta viiveisiin liittyviä luotettavuusongelmia ei mainittu.

8 kyllä, 1 ehkä

Yllättävän paljon käytetään viiveitä. Antureiden käyttö on kuitenkin yleistymässä. Anturit maksavat n. puolet pienen sylinterin hinnasta. Antureita käytettäessä päästään nopeaan tahtiaikaan, koska ei tarvitse ottaa huomioon liikeaikojen varmuuksia. Ajastimia käytettäessä itsediagnostiikka vaikeaa, luotettavuus saattaa olla ongelma, samoin kellojen käynnistys pysäytyksen jälkeen (ilman anturitietoa ei aina tiedetä mihin tilaan laite on jäänyt).

Joissain kohteissa antureista ei ole hyötyä häiriönhallinnan kannalta (nopeuden kylläkin), jos tavaraa tulee kuljettimella jatkuvasti paljon tuotantokohteeseen, niin häiriön poiston kannalta ei aina ole väliä, mihin tavaraa kasaantuu.

- Käytetäänkö järjestelmässä (yli/ali)painesuojausta? Minkälaista?

Paineensäädön lisäksi ei käytetty muita menetelmiä.

paineensäätöventtiilit, paineakut, varoventtiileitä

Ylipainesuojaus voi olla tarpeen esim. jos tilavuus pidetään vakiona

ja säiliö täyttyy vedellä, jolloin tilavuus pienenee. Tavallinen paineraja on 12 bar. Paineen rajoituksella olisi ehkä käyttöä sulan liiman käsittelyssä (käyttöpaine n. 2 bar).

HÄIRIÖTILANTEIDEN HALLINTA

- Miten järjestelmään varastoitunut energia puretaan? Esim. paineakkuihin tai sylintereihin varastoitunut paine tai pysty akselin jääminen yläasentoon. Miten toimitaan tällöin korjaustilanteissa tai häiriötilanteissa? Onko toiminta tällöin turvallista?

Yleensä paineet poistetaan sulkuventtiilin yhteydessä olevalla paineenpoistolla, mutta kaikissa tapauksissa sulkuventtiili ei poista kaikkia paineita. Eräissä kohteissa käytetään 2 bar painetta estämään akseleita putoamasta ja eräissä kohteissa tarvitaan käsiajtoa kaikkien paineiden poistamiseen.

1 turvaraja toimii -> paineet pois tai alle 2 bar, 6 paineet pois venttiilillä, 2 hätä - seis poistaa paineet, 1 paineet pois ja sitten ajetaan käsiajolla, kunnes paine loppuu
--

Paineen purku huoltotöitä varten kohteissa, joissa energiaa jää pysäytyksen jälkeen, on toisinaan ongelmallista.

Paineen purku yleensä hätäpysäyttimellä, tiettyihin kohteisiin jätetään pitopaine (tartunta, ylhäälläpysyminen ja kuljettimien jonot) ja palo-ovien kohdalla paine pitää ajaa pois (ei saada venttiilillä tyhjäksi).

- *Onko vikatilanteiden hoitoon riittävästi ohjeita käyttöohjeissa?*

Monet ovat tunnistanee ongelman. Joissain tapauksissa on vaikea määrittellä riittävää ohjeiden määrää.

3	ei aivan kaikissa laitteissa,
3	ei,
2	on

Käyttäjien koulutus tärkeää. Vikatilanteita vaikea aavistaa räätälöidyissä järjestelmissä.

- *Onko sulkuventtiilit ja poistoveniitit jaoteltu ja merkitty niin, että niitä on helppo käyttää vikatilanteissa?*

Merkintäkäytännöt vaihtelevat, mutta puutteita on monien mielestä.

Esim. joidenkin mallien poistoveniitit on pieni ja huomaamaton. Ongelmana on usein se, käytetäänkö tehtaalla vai toimittajan merkintästandardia. Tehtaalla merkintätapojen horjuvuus tuo epätietoisuutta.

1	merkitty on, mutta käyttö hankalaa,
3	yleensä,
2	ei,
4	on

Monissa tapauksissa muun kuin koneen tuntevan henkilön on vaikea löytää poistoveniitit.

- *Onko järjestelmässä itsediagnostiikkaa?, Osaako järjestelmä korjata automaattisesti jonkun häiriötilanteen? Olisiko joidenkin häiriötilanteiden automaattinen poistaminen tarpeen?*

Monimutkaista itsediagnostiikkaa ei ole käytetty, mutta esim. mekaanisesti on estetty väärässä asennossa olevien kappaleiden eteneminen tai vain oikean viivakoodin löytyminen oikeasta kohdasta sallii toiminnan.

Kohtuuhintainen häiriöiden vähennysjärjestelmä olisi tarpeen muutamissa kohteissa.

1	perusasentoon palautus,
1	häiriön poisto siirtää tuotteen syrjään,
1	sallii toiminnan, jos viivakoodi oikein,
1	diagnostiikka kertoo häiriöistä,
3	ei ole, mutta olisi tarpeen (kustannukset),
5	ei

Itsediagnostiikkaa käytetään nykyisissä järjestelmissä melko paljon, mutta käytön yleisyys ja laajuus on ohjelmoijan ”käsialasta” riippuvainen tekijä.

Tavallinen on aikavalvonta, jossa odotetaan toiminnan kuittausta tietty aika, ja jos kuittausta ei tule, niin järjestelmässä on vikaa. Kun häiriö havaitaan, annetaan ilmoitus, missä häiriö on. Joissain tapauksissa voidaan häiriön aiheuttanut paketti työntää automaattisesti syrjään. Joka tapauksessa diagnostiikan ohjelmointi vie paljon aikaa.

TARVITAANKO JOSSAIN KOHTEISSA ERITYISEN KORKEAA TURVALLISUUSTASOA

- *Onko laitteen joidenkin osien toiminnot varmistettu tai kahdennettu (ja/tai luokiteltu esim. standardiluonnoksen prEN 954-1 mukaan)?*

Tarvetta turvallisen ohjausjärjestelmän käyttöön ei yleensä tunnistettu. Sähköisissä ohjauksissa turvarelepaketit hätäpysäytyksissä ovat yleistymässä.

1	turvarele uusimmissa koneissa,
4	ei,
1	ehkä

Turvarelepaketti mainittiin yllättävän harvoin.

Nykyisissä toimituksissa käytetään yleensä turvarelepakettia. Standardin EN 954-1 mukaista luokittelua on otettu omaan käyttöön.

Jos koko automaatiojärjestelmä on jaettu turva-alueisiin, tarvitaan yksi turvarelepaketti kuhunkin alueeseen. Tehtävään on harkittu myös turvalogiikkaa.

KÄYTTÖOHJEET, KOULUTUS

- *Onko laitteen normaaliin käyttöön opastettu riittävästi (käyttöohjeet, koulutus)?*

Jonkun verran puutteita on havaittu.

Koulutukseen on panostettu, koulutettujen nimet saadaan koulutuksen yhteydessä ja koulutus kuuluu aina uuteen toimitukseen.

6	on,
1	yleensä,
2	puutteita,
1	ei

- *Onko opastettu riittävästi epänormaaleihin tilanteisiin, kuten häiriön poistoon?*

Riittävää koulutuksen tasoa on vaikea määritellä, mutta puutteita on havaittu.

Usein on mahdollista ostaa toimittajalta neuvontapalvelu (tai esim. ohjelmakorjauksia modeemin välityksellä).

2	riittävästi ei täydellisesti (puhelinsoitto mahdollista),
5	on,
1	kunnossapitohenkilökuntaa koulutettu,
1	jossain määrin,
2	ei

- *Onko järjestelmän sisältämät riskit opastettu riittävän selvästi?*

Puutteita on havaittu.

4	on,
3	ei,
2	ei aina,
1	on riskit pieniä

MITKÄ KOMPONENTIT OVAT VIKAANTUNEET USEIMMIN

- *Mitä osat vikaantuvat useimmin (esim. anturit, kaapelit, letkut, venttiilit)?*

Tässä kyselyssä ei saatu selvää eniten vikaantuvaa osaa, vaan ilmeisesti ympäristöolosuhteista ja käytöstä riippuen eniten vikaantuvat: venttiilit, anturit ja letkut.

Venttiiliviat on mainittu yllättävän usein. Tähän lienee syynä huono

venttiilien valinta. Likaisissa paikoissa tulisi venttiilien liikkeiden tarvitsemien pienten ilma-aukkojen ilman tulla suodattimen kautta. Sylintereiden vikoja pystytään vähentämään keskeiskiinnityksellä, joka poistaa sylinteriin kohdistuvia sivuttaisvoimia. Antureiden häiriöt ovat tavallisia. Liikkumaan pääsevät letkut ja kaapelit vikaantuvat useimmin.

4 venttiilit,
2 venttiilien kelat (pesu hapettaa),
4 letkut,
4 anturit,
2 sylinterit (tiivisteet),
1 mekaaniset osat,
1 imukupit

- *Mikä on tyypillisin vikamuoto venttiileissä (esim. mekaaninen vaurio, tiivistevuoto, karan jumiutuminen)?*

Venttiilien vikamuodoista on useimmin mainittu vuoto ja lian aiheuttama venttiilin jumiutuminen. Tiivistevuoto lienee tavallisin vikamuoto.

6 vuoto (2 tiivisteet),
4 venttiili ei vaihda tilaa (sokeripöly, lika),
1 jousi löystyy,
1 mekaaninen vaurio,
1 kela palaa

- *Mikä on tyypillisin anturin vikaantumismuoto? (esim. mekaaninen rikkoutuminen, kaapelivika tai muu sähköinen vika)*

Antureiden tyypillisimmät viat ovat mekaanisia: kaapelin katkeamisia tai muita mekaanisia vaurioita.

Anturin likaantuminen tai säätöjen muuttuminen on tavallista.

Anturin mekaanisen vaurion aiheuttaa usein anturin huono kiinnitys. Tämän seurauksena liikkuva kappale pääsee törmäämään anturiin.

4 mekaaninen vaurio,
3 kaapeli katkeaa,
2 sähkövika,
1 anturi irtoaa

- *Minkä komponentin vikaantuminen aiheuttaa suurimman turvallisuusriskin?*

Vaarallisina vikoina mainittiin turvalaitteen vikaantuminen, letkuvauriot, logiikan vika ja anturivika.

2	turvarajakytkin (valvoo suojusta),
2	letkuvaurio,
1	logiikan vika,
1	anturivika

Ohjattu vastaventtiili ja lyhyiden

letkujen käyttö vähentäisivät letkuvaurion vaaroja.

Turvalaitteen vikaantuminen on yleensä vaarallisinta. Joskus myös päätyrajan yli ajaminen.

TURVALLISUUSONGELMIA?

- *Onko laitteella sattunut vahinkoja tai ”läheltä piti” -tilanteita?*

Vahinkoja tai ”läheltäpiti”-tilanteita muisti 6 vastannutta.

Kuumaliima on aiheuttanut vahinkoja siinä vaiheessa, kun säätöjä ei vielä ole tehty.

Jos kappale pääsisi putoamaan ihmisen ollessa työalueella, olisi tapaturma hyvin mahdollinen.

Melu on ongelma työstettäessä metallia.

1	on
1	vanhoissa on muutamia,
4	muutamia (1 oltu koneen toimiessa aidan sisäpuolellavikaa korjaamassa, luukun hidas sulkeutuminen),
4	ei,

- *Onko muita turvallisuusongelmia liittyen esim. ohjausjärjestelmään, turvalaitteisiin?*

Erilaisia ongelmia mainittiin: turvajärjestelmän käyttö hankalaa, kiire, kaikki paineet eivät poistu hätäpysäytyksessä ja turvalaitteiden helppo ohittaminen. Turvajärjestelmän käyttö kiireessä. Turva-alueiden käyttö.

1	turvajärjestelmän rakentaminen hankaloittaa huoltoa,
1	robottisolujen turvallisuus,
1	käyttäjän kiire,
1	hätä-seis -painike ei kaikissa koneissa poista paineita,
1	häiriötilanteen purku hidasta koska laatikot pitää poistaa huollon ajaksi,
1	rajojen ohitus,
3	ei

KEHITYSMAHDOLLISUUKSIA

- *Mitä tekniikkaa pitäisi mielestänne kehittää pneumaattisiin toimilaitteisiin perustuvissa järjestelmissä?*

Seuraavia kehitystarpeita esitettiin: tietoa turvalaitteiden käytöstä, letkujen ja venttiilien suojauksen kehittäminen, hallitun paineettomaksi saattamisen kehittäminen, vuodot paremmin hallintaan ja logiikkojen ohjelmointiin selkeyttä.

- | | |
|---|---|
| 1 | suojaustekniikka (lisää opastavaa tietoa), |
| 1 | letkujen ja venttiilien suojaus, |
| 1 | hallittu paineettomaksi saattaminen vikatilanteissa niin ettei koneelle tai käyttäjälle aiheudu vaaraa, |
| 1 | ohjelmointitekniikka, |
| 1 | vuodot hallintaan |

Logiikan ohjelmoinnissa

huoltohenkilökunta ei välttämättä pysty tietämään alkuperäisen ohjelman kaikkien toimintojen merkitystä ja siten muutosten seurauksia.

Rungon värähtely on tuonut ongelmia, esim. portti on saattanut aueta.

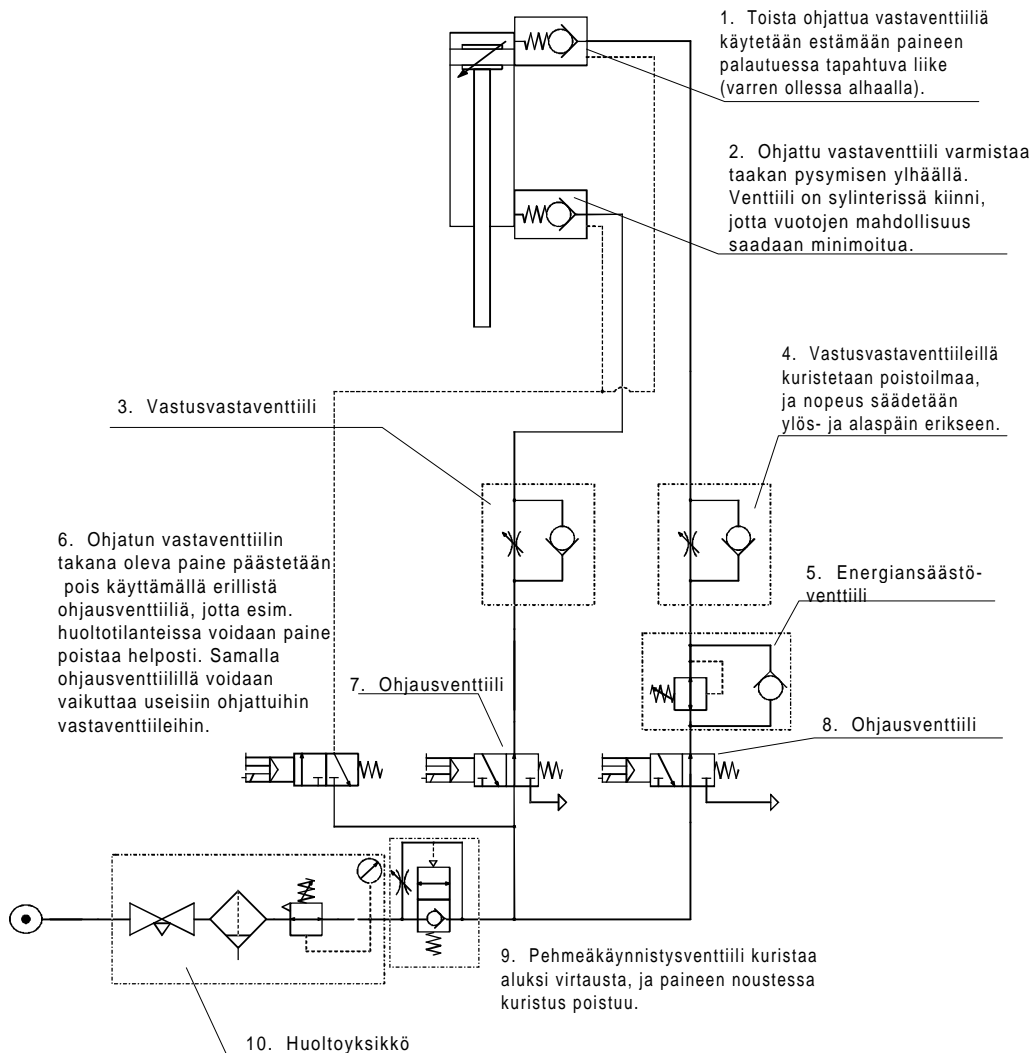
Toimittaja kaipaisi kahvallista lukkoa, joka sisältäisi turvarajakytkimen.

Vähämeluisia työmenetelmiä metallin työstöön. Selvitettävä esim., millä nopeudella työkalun pitäisi osua metalliin, jotta melu ja työjälki pysyvät kohtuullisina.

Komponenttien tasalaatuisuus on tärkeää.


Standardien saanti yleiseen tietoon.


ESIMERKKIPIIRIN VIKA- JA VAIKUTUS- ANALYYSI (VVA)





Kuva C1. Sylinterin ohjaus. Kytkenässä ohjatut vastaventtiilit, vastusvastaventtiilit ja energiansäästöventtiili ovat kiinni sylinterissä ja toisissaan ilman letkua.


Analyysiin on kerätty ainoastaan vikamuodot ja välittömät seuraukset. Vaikutuksia laajempaan kokonaisuuteen tai parannusehdotuksia ja muita huomioita ei taulukkoon ole kirjattu (niille ei ole varattu omaa saraketta), koska ne ovat tapauskohtaisia. Ne tekijät ovat normaalisti vika- ja vaikutusanalyysin tärkeimpiä asioita, ja niillä on omat sarakkeensa, sillä analyysihän tehdään juuri sen vuoksi, että löydettäisiin järjestelmässä mahdollisesti olevia puutteita. Tämä esimerkki on tehty sen vuoksi, että siitä nähdään, mitä vikamuotoja käsitellään yksinkertaisessa paineilmajärjestelmässä.


 Valmistustekniikka	Paineilmasynterin ohjauksen Vika- ja vaikutusanalyysi	22.5.1998 versio 1 Tekijä: Timo Malm
Osa	Vikamuoto	Seuraukset
1. Ohjattu vastaventtiili	a) Vastaventtiili ei sulkeudu tai vuoto. b) Vastaventtiili ei avaudu. c) Kytkeytymisaika muuttuu.	a) Ei välittömiä seurauksia, koska ohjausventtiili 8 pystyy ohjaamaan liikettä. Pysäytys hidastuu hieman, koska ohjattu vastaventtiili olisi nopeampi kuin ohjausventtiili. Pemeäkäynnistysventtiili vaimentaa käynnistystilanteessa syntyvät heilahdukset. b) Sylinteri ei liiku ylöspäin. c) Kytentäaika ei kuitenkaan ylitä ohjausventtiilin kytentäaikaa.
2. Ohjattu vastaventtiili	a) Vastaventtiili ei sulkeudu tai vuoto. b) Vastaventtiili ei avaudu. c) Kytkeytymisaika muuttuu.	a) Ei välittömiä seurauksia, koska ohjausventtiili 7 pystyy ohjaamaan liikettä. Pysäytys hidastuu hieman, koska ohjattu vastaventtiili olisi nopeampi kuin ohjausventtiili. Jos paine poistetaan, sylinterin pito ylhäällä ei toimi. Pemeäkäynnistysventtiili vaimentaa käynnistystilanteessa syntyvät heilahdukset. b) Sylinteri ei liiku alaspäin. c) Kytentäaika ei kuitenkaan ylitä ohjausventtiilin kytentäaikaa.
3. Vastusvastaventtiili	a) Vastaventtiili ei sulkeudu tai vuoto. b) Vastaventtiili ei avaudu.	a) Liikenopeus alaspäin kasvaa. b) Sylinteri täyttyy hitaasti ja täysi voima saavutetaan normaalia hitaammin, minkä johdosta liikenopeus saattaa hidastua

 Valmistustekniikka	Paineilmasynterin ohjauksen Vika- ja vaikutusanalyysi	22.5.1998 versio 1 Tekijä: Timo Malm
Osa	Vikamuoto	Seuraukset
	c) Kytkeytymisaika muuttuu. d) Virtaus vastaventtiilin läpi muuttuu.	kuormasta riippuen. c) Vastaventtiilin kytkentäajan pienellä muutoksella ei ole merkitystä. d) Nopeus alaspäin muuttuu.
4. Vastusvastaventtiili	a) Vastaventtiili ei sulkeudu tai vuoto. b) Vastaventtiili ei avaudu. c) Kytkeytymisaika muuttuu. d) Virtaus vastaventtiilin läpi muuttuu.	a) Liikenopeus ylöspäin kasvaa. b) Sylinteri täyttyy hitaasti ja täysi voima saavutetaan normaalia hitaammin, minkä johdosta liikenopeus saattaa hidastua kuormasta riippuen. c) Vastaventtiilin kytkentäajan pienellä muutoksella ei ole merkitystä. d) Nopeus alaspäin muuttuu.
5. Energiansäästö-venttiili	a) Paineventtiili ei aukea tai ei aukea riittävästi. b) Paineventtiili ei sulkeudu tai ei sulkeudu riittävästi tai vuoto. Vastaventtiili ei sulkeudu tai vuoto. c) Paineraja muuttuu.	a) Mäntä ei liiku tai liikkuu huonosti alaspäin. b) Sylinterin puolelle tulee normaalia korkeampi paine ja sylinterin pysyminen keskiasennossa on ohjatun vastaventtiilin (2) varassa. Alaspäin suuntautuva voima kasvaa. c) Jos paine laskee, alaspäin suuntautuva voima laskee. Painerajan muuttuessa menetetään sylinterin tasapainotila. Mäntä pysyy kuitenkin paikallaan ohjattujen vastaventtiilien avulla.

 Valmistustekniikka	Paineilmasynterin ohjauksen Vika- ja vaikutusanalyysi	22.5.1998 versio 1 Tekijä: Timo Malm
Osa	Vikamuoto	Seuraukset
	d) Vastaventtiili ei avaudu.	d) Paine purkautuu hieman normaalia hitaammin.
6. Ohjausventtiili	a) Kytentääajan hidastuminen. b) Ei kytkeydy tai ei kytkeydy täysin. c) Asento vaihtuu iskun, tärinän tai vuodon vuoksi. d) Vuoto.	a) Kytentääajan hidastuminen aiheuttaa ohjattujen vastaventtiilien toiminnan hidastumista, mutta ohjausventtiilit pystyvät edelleen pysäyttämään liikkeen. b) Ohjatut vastaventtiilit eivät avaudu. Mäntä ei liiku. Jos ohjausventtiili toimii osittain, kytentäaika hidastuu ja liike tapahtuu normaalia myöhemmin. c) Ohjatut vastaventtiilit vapautuvat hetkeksi, mutta ohjausventtiilit pitävät männän paikallaan. d) Jos ilma vuotaa pois, ohjatut vastaventtiilit eivät avaudu kunnolla ja mäntä ei liiku.
7. Ohjausventtiili	a) Kytentääajan muutos. b) Ei kytkeydy tai ei kytkeydy täysin. c) Asento vaihtuu iskun, tärinän tai vuodon vuoksi. d) Vuoto.	a) Ohjattu vastaventtiili toimii nopeammin kuin ohjausventtiili (pienempi ilmatilavuus) ja siksi ohjausventtiilin vika ei vaikuta. b) Mäntä ei liiku alaspäin. c) Ohjattu vastaventtiili estää tahattoman liikkeen. d) Jos ilma vuotaa pois, ohjattu vastaventtiili estää tahattoman liikkeen. Jos sylinterissä ei ole enää painetta ja ohjattu vastaventtiili vapautetaan, mäntä liikkuu normaalia suuremmalla nopeudella.

 Valmistustekniikka	Paineilmasynterin ohjauksen Vika- ja vaikutusanalyysi	22.5.1998 versio 1 Tekijä: Timo Malm
Osa	Vikamuoto	Seuraukset
8. Ohjausventtiili	a) Kytentäajan muutos. b) Ei kytkeydy tai ei kytkeydy täysin. c) Asento vaihtuu iskun, tärinän tai vuodon vuoksi. d) Vuoto.	a) Ohjattu vastaventtiili toimii nopeammin kuin ohjausventtiili (pienempi ilmatilavuus) ja siksi ohjausventtiilin vika ei vaikuta. b) Mäntä ei liiku ylöspäin. c) Ohjattu vastaventtiili estää tahattoman liikkeen. d) Jos ilma vuotaa pois, ohjattu vastaventtiili estää tahattoman liikkeen. Jos sylinterissä ei ole enää painetta ja ohjattu vastaventtiili vapautetaan, mäntä liikkuu normaalia suuremmalla nopeudella.
9. Pehmeäkäynnistys-venttiili	a) Venttiili ei aukea täysin. b) Venttiili jää auki. c) Alkuvirtaus muuttuu.	a) Järjestelmä saa paineen kuristimen läpi ja kaikki liikenopeudet ovat pieniä. b) Pehmeäkäynnistys ei toimi, liikenopeudet ovat heti nopeita. c) Muutoksesta riippuen pehmeäkäynnistys on normaalia hitaampi tai nopeampi.
10. Huoltoyksikkö	a) Suodatin tukkeutuu tai paineensäädin jää kiinni. b) Paineensäädin ei rajoita painetta.	a) Järjestelmä ei saa painetta. b) Järjestelmässä on normaalia suurempi paine ja paine vaihtelee verkon kuormituksen mukaan. Sylinterissä on normaalia enemmän voimaa.

 Valmistustekniikka	Paineilmasynterin ohjauksen Vika- ja vaikutusanalyysi	22.5.1998 versio 1 Tekijä: Timo Malm
Osa	Vikamuoto	Seuraukset
	c) Paineensäädin antaa väärään paineen.	c) Sylinterin voima on paineesta riippuvainen. Jos paine on alhainen, mäntä ei liiku ylöspäin. Tällöin mäntä voi liikkua alaspäin, vaikka sitä ohjataan ylöspäin.
Pehmeäkäynnistysventtiilin (9) ja ohjausventtiilien väliset letkut.	a) Rikkoutuminen tai irtoaminen. b) Vuoto (Tukkeutuminen on epätodennäköistä, kun letkun paksuus on yli 2 mm).	a) Ohjatut vastaventtiilit jäävät kiinni ja mäntä ei liiku. Irtonainen letku voi aiheuttaa iskuvaaran. b) Jos ilmaa on riittävästi käytössä, pienellä vuodolla ei ole merkitystä.
Ohjausventtiilin (6) ja ohjattujen vastaventtiilien (1 ja 2) väliset letkut.	a) Rikkoutuminen tai irtoaminen. b) Vuoto (Tukkeutuminen on epätodennäköistä, kun letkujen paksuus on yli 2 mm).	a) Ohjatut vastaventtiilit jäävät kiinni ja mäntä ei liiku (ohjattu liike on lyhyen aikaa mahdollinen). Irtonainen letku voi aiheuttaa iskuvaaran. b) Jos ilmaa on riittävästi käytössä, pienellä vuodolla ei ole toimintaan vaikutusta.
Ohjausventtiilin (7) ja vastusvastaventtiilin (3) välinen letku.	a) Rikkoutuminen tai irtoaminen. b) Vuoto (Tukkeutuminen on epätodennäköistä, kun letkujen paksuus on yli 2 mm).	a) Järjestelmän paine laskee ja ohjatut vastaventtiilit jäävät kiinni ja mäntä ei liiku. Jos paine riittää ohjatuille vastaventtiileille, mäntä voi liikkua kerran alaspäin. b) Jos ilmaa on riittävästi käytössä, pienellä vuodolla ei ole merkitystä.

 Valmistustekniikka	Paineilmasynterin ohjauksen Vika- ja vaikutusanalyysi	22.5.1998 versio 1 Tekijä: Timo Malm
Osa	Vikamuoto	Seuraukset
Ohjausventtiilin (8) ja energiansäästö- venttiilin (5) välinen letku.	a) Rikkoutuminen tai irtoaminen. b) Vuoto (Tukkeutuminen on epätodennäköistä, kun letkujen paksuus on yli 2 mm).	a) Järjestelmän paine laskee ja ohjatut vastaventtiilit jäävät kiinni ja mäntä ei liiku. Jos paine riittäisi ohjatuille vastaventtiileille ja sylinterille, niin mäntä voi liikkua kerran ylöspäin. b) Jos ilmaa on riittävästi käytössä, pienellä vuodolla ei ole merkitystä.

Analyyseistä nähdään, että mikään vikatyyppe ei aiheuta välitöntä suurta vaaraa mutta toisaalta kaikki viat eivät paljastu. Kytkeä sopii siis periaatteessa standardin SFS-EN 954 - 1 luokkaan 3, mutta tällöin tulee vastaavien sähkökytkentöjenkin olla luokkaa 3. Eräissä vikatyypeissä pysähtymisaika tai liikenoisuus saattavat muuttua hieman. Näiden vikojen vaikutus riippu siitä, kuinka paljon turvallisuus perustuu näihin tekijöihin. Esim. nopeus on kriittinen tekijä, jos turvallisuus perustuu alhaiseen nopeuteen, tai pysähtymisaika on kriittinen, jos turvalaitteen etäisyys vaarakohdasta mitoitetaan tarkasti.