

Joel Mustajärvi

PLC-ohjattu kaasunvalvontajärjestelmä

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Konetekniikan tutkinto-ohjelma, koneautomaation suuntauma

Tekijä: Joel Mustajärvi
Opinnäytetyön nimi: PLC-ohjattu kaasunvalvontajärjestelmä
Työn ohjaaja: Juha Junntila
Työn valmistuslukukausi ja -vuosi: Kevät 2025
Sivumäärä: 41

Tässä opinnäytetyössä suunniteltiin PLC-ohjattu kaasunvalvontajärjestelmä räjähdysvaaralliseen teollisuusympäristöön. Projektin keskeiset osa-alueet olivat kaasunvalvonta, sovellusohjelman kehittäminen, järjestelmäsuunnittelu ja laitevalinta. Projektissa syvennytään kaasuvuotojen valvontaa suorittavien antureiden toimintaan sekä kaasunvalvonnan peruseräisiin. Projekti toteutetaan Elcoline Plant Service Oy:n asiakasprojektiin.

Työn tietoperustana ovat anturitekologiaan liittyvät artikkelit, anturivalmistajien materiaalit, Terveystieteiden ja hyvinvoinnin laitoksen ohjeet sekä kaasunvalvontaan liittyvät standardit. Teoriaosuudessa käsiteltiin yleisimpiä palavien ja myrkyllisten kaasujen tunnistusmenetelmiä, automaatiolaitteiden kommunikaatiota ja anturivalintaa.

Tavoitteena oli suunnitella kokoonpano, jolla kaasunvalvontalaitteisto voidaan sijoittaa räjähdysvaaralliseen tilaan. Järjestelmän tehtävänä on valvoa tuotantotilassa työskentelevien henkilöiden sekä prosessilaitteiston turvallisuutta mahdollisten kaasuvuotojen varalta.

Laitteiston ohjaus toteutettiin Beckhoff Automationin valmistamalla PC-pohjaisella logiikkaohjaimella. Ohjausjärjestelmän sovellusohjelma toteutettiin Beckhoff TwinCAT 3 -ohjelmointiympäristössä StructuredText -ohjelmointikielellä. Sovellusohjelman käyttöliittymä luotiin TwinCAT 3 Integrated visualization -työkalulla.

Tuloksena syntyi suunnitelma kaasunvalvontajärjestelmän rakenteesta ja laitevalinnoista sekä kehitettiin toiminnan ja ohjauksen mahdollistava sovellusohjelma ja käyttöliittymä. Suunnitelmaa hyödyntämällä kaasunvalvontalaitteisto voidaan sijoittaa räjähdysvaarallisen alueen sisälle. PLC-ohjattuna järjestelmän avulla voidaan yhtenäistää laitekantaa prosessilaitteiston ja valvontalaitteiston ollessa saman valmistajan toimittamia. Yhtenevän laitekannan etuna on komponenttien korvattavuus sekä koulutustarpeen väheneminen.

Luotujen suunnitelmien pohjalta asiakasprojektissa edetään järjestelmän toiminnallisuuden varmentamiseen fyysisellä laitteistolla. Laitteiston ja sovellusohjelman kehitys jatkuu sähkösuunnittelulla sekä tiedonkeruutoimintojen kehittämisellä.

Avainsanat: Kaasunvalvonta, automaatiotekniikka, PLC-ohjelmointi

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical Engineering, Option of Machine Automation

Author: Joel Mustajärvi
Title of thesis: PLC-Controlled Gas Monitoring System
Supervisors: Juha Junttila
Term and year when the thesis was submitted: Spring 2025
Number of pages: 41

In this thesis, a PLC-based gas monitoring system was designed for an explosion-prone industrial environment. The key areas of the project included gas monitoring, application program development, system design and equipment selection. The project studied the working principles of gas detecting sensors and the basics of gas detection. The system was developed for a customer project of Elcoline Plant Service Oy.

The theoretical background of this work includes articles related to sensor technology, materials from sensor manufacturers, guidelines from the Finnish Institute for Health and Welfare, and standards relevant to gas monitoring. The theory section discusses the most common detection methods of flammable and toxic gases, communication between automation devices and sensor selection.

The goal was to design an assembly that allows gas monitoring equipment to be installed in an explosion-hazardous space. The purpose of the system is to ensure the safety of personnel and process equipment in the event of a gas leak.

The control of the equipment was implemented with a PC-based logic controller manufactured by Beckhoff Automation. The application program of the control system was implemented in the Beckhoff TwinCAT 3 programming environment using the Structured Text programming language. The user interface of the application program was created with the TwinCAT 3 Integrated visualization tool.

The outcome was a design for the gas monitoring system's structure and the selection of equipment. An application program and user interface were also developed. By utilizing the plan, the gas monitoring equipment can be installed inside the potentially explosive area. The PLC-controlled system can be used to unify the equipment base when the same manufacturer supplies the process equipment and monitoring equipment. Benefits of a uniform system are replaceability of components and reduction in the need for system training.

Based on the created plans, the customer project proceeds to verify the functionality of the system with physical hardware. The development of the hardware and application program continues with electrical design and the development of data collection functionalities.

Keywords: Gas monitoring, automation technology, PLC programming

SISÄLLYS

SANASTO.....	7
JOHDANTO	9
1 KAASUNVALVONTA.....	10
1.1 Historia ja perusteet	11
1.2 Kaasunilmaisimen valinta.....	11
1.3 Myrkyllisten kaasujen tunnistus	12
1.4 Palavien kaasujen tunnistus.....	13
2 AUTOMAATIOLAITTEIDEN KOMMUNIKAATIO	15
2.1 Analoginen ja digitaalinen signaali	15
2.2 Kenttäväylät.....	16
2.3 HART	16
3 JÄRJESTELMÄSUUNNITTELU	17
3.1 Toiminnalliset vaatimukset	17
3.2 Käyttöliittymän vaatimukset.....	18
3.3 Järjestelmän rakenne ja laitevalinta	19
3.3.1 Ohjelmoitava logiikka	19
3.3.2 Kaasunilmaisimet.....	22
3.3.3 Tulo- ja lähtösignaalit	24
3.3.4 Käyttöliittymä.....	25
3.3.5 Kaasunsyötön sulkuventtiilit.....	26
3.3.6 Poistopuhaltimet	26
3.3.7 Merkinantovalot ja sireeni	27
3.3.8 Varavirtalähde.....	27
4 SOVELLUSOHJELMASUUNNITTELU	28
4.1 Sovellusohjelman rakenne	28
4.2 Signaalin prosessointi	30
4.3 Raja-arvojen tarkkailu.....	30
4.4 Hälytysten ohjaus.....	31
4.5 Toimilaitteiden ohjaus.....	32
4.6 Graafinen käyttöliittymä.....	32
4.6.1 Päänäkymä.....	34

4.6.2	Huoltonäkymä.....	36
5	YHTEENVETO.....	38
	LÄHTEET.....	40

SANASTO

Atex	eurooppalainen direktiivi, joka määrittelee vaatimukset laitteille ja suojausjärjestelmille, joita käytetään räjähdysvaarallisissa tiloissa.
Analogiasignaali	Jatkuva signaali, joka vaihtelee tietyllä alueella ja välittää tietoa esimerkiksi jännitteen tai virran muodossa.
Bell 202 FSK-standardi	Tietoliikenteen standardi, joka käyttää taajuusjakoista koodausmenetelmää (Frequency Shift Keying, FSK) tietojen siirrossa.
Bitti	Tietokonejärjestelmien perusyksikkö, joka voi olla arvoltaan 0 tai 1 ja jota käytetään digitaalisessa tiedon tallennuksessa ja siirrossa.
Binäärikoodi	Kaksijärjestelmään perustuva koodi, joka koostuu numeroista 0 ja 1 ja jota käytetään tietokoneiden ja digitaalilaitteiden tiedon tallennuksessa ja käsittelyssä.
Data	Tietoa, jota voidaan tallentaa, käsitellä ja analysoida. Data voi olla esimerkiksi numeerista, tekstuaalista tai kuvallista tietoa.
Digitaalinen	Tietotekniikassa käytetty termi, joka tarkoittaa informaation tallentamista ja käsittelyä diskreettien arvojen, kuten 0 ja 1, muodossa.
HMI	Lyhenne sanoista Human-Machine Interface. Käyttöliittymä, jonka kautta ihminen voi olla vuorovaikutuksessa koneen tai järjestelmän kanssa; tyypillisesti näyttö ja ohjauspaneeli.
Kenttälaite	Teollisuuden laite, joka mittaa, ohjaa tai monitoroi prosesseja suoraan tuotantokentällä, kuten anturit ja venttiilit.

Kenttäväylä	Teollisuuden automaatiojärjestelmissä käytetty hajautettu tiedon- siirtoväylä, joka mahdollistaa tietoliikenteen kenttälaitteiden ja oh- jausjärjestelmän välillä.
Monimuuttujakenttälaite	Kenttälaite, joka pystyy mittaamaan ja hallitsemaan useampaa muuttujaa samanaikaisesti.
NC-venttiilit (Normally Closed)	Venttiilit, jotka ovat normaalisti kiinni ja avautuvat vain, kun niihin kohdistetaan tietty ohjaussignaali.
Parametri	Muuttuja tai arvo, joka määrittelee tai vaikuttaa järjestelmän toi- mintaan ja sen säätöön.
Sarjaviestintäyhteys	Tietoliikenneprotokolla, jossa tieto lähetetään peräkkäin, bitti ker- rallaan, kuten RS-232 tai RS-485.
Sintraus	Sintrauksessa tuotetaan kiinteä kappale kuumuudella tai purista- malla, sulattamatta ainetta.
Solenoidiventtiili	Sähkömagneettikäyttöinen venttiili, joka ohjaa nesteen tai kaasun virtausta sulkemalla tai avaamalla kanavan.
Sovellusohjelma	Tietokoneohjelma, joka suorittaa tietyn tehtävän tai toiminnon, kuten valvonta- tai ohjaustehtävän.
Tilavuusprosentti	Yksikkö, joka ilmaisee jonkin aineen tilavuuden suhteessa koko- naistilavuuteen prosentteina.
UPS	Lyhenne sanoista Uninterruptible Power Supply. Keskeytymätön virtalähde, joka tarjoaa varavirtalähteen laitteille sähkökatkon sat- tuessa.

JOHDANTO

Tässä työssä kehitetään kaasunvalvontajärjestelmä, joka valvoo räjähdysvaarallisten, myrkyllisten ja tukahduttavien kaasujen pitoisuuksia tuotantotiloissa, joissa vaaralliset kaasut voivat muodostaa merkittävän riskin työskentelylle, ympäristölle ja laitteistolle.

Tavoitteena on luoda vaihtoehtoinen ratkaisu markkinoilla oleville kaasunvalvontakeskuksille. PLC-ohjattu kaasunvalvontajärjestelmä mahdollistaa tarvittaessa koko laitteiston sijoittamisen räjähdysvaaralliseen tilaan. Käyttämällä saman valmistajan laitteita sekä kaasunvalvonnassa että prosessinohjauksessa, voidaan yhtenäistää laitekantaa, vähentää käyttöön liittyvää koulutustarvetta, yksinkertaistaa operointia ja helpottaa järjestelmän ylläpitoa.

Järjestelmän tehtävänä on taata turvallinen työympäristö vaarallisten kaasujen käsittelyssä ja ehkäistä räjähdysvaaroja sekä työntekijöiden ja ympäristön altistumista haitallisille aineille. Järjestelmä seuraa jatkuvasti kaasupitoisuuksia ja ohjaa kriittisiä turvatoimintoja, kuten hälytyksiä, kaasunsyötön sulkuventtiilejä ja ilmanvaihtoa, reagoiden automaattisesti vaarallisiin tilanteisiin.

Työn alussa perehdytään kaasunvalvonnan perusteisiin sekä standardeihin, jotka ovat olennainen osa räjähdysturvallisuuden ja työympäristön turvallisuuden takaamista. Järjestelmän suunnittelussa hyödynnetään SFS-EN 60079-29-1:2017-standardia, joka asettaa vaatimukset palavien kaasujen valvontalaitteille ja niiden ohjelmistoille.

Työn toimeksiantajana on Elcoline Plant Service Oy. Elcoline Plant Service Oy on osa Elcoline Groupia, joka on pohjoismainen noin 800 henkilöä työllistävä teollisuuden kasvuyritys. Työ toteutetaan Elcoline Plant Service Oy:n asiakkaalle toimitettavaan projektiin. Elcoline Group tarjoaa kokonaisvaltaisia teknisiä palveluita muun muassa metalli-, kaivos- ja meriteollisuuteen. (1.)

1 KAASUNVALVONTA

Ilma koostuu useista kaasuista, joista jotkin ovat välttämättömiä elämän kannalta, kun taas jotkin ovat myrkyllisiä. Luonnollisista lähteistä olevien kaasujen lisäksi on olemassa keinotekoisien lähteiden kuten palamisprosessin luomia kaasuja. Elintärkeiden kaasujen määrä hengitysilmassa on pidettävä oikealla tasolla ja vaarallisten kaasujen pitoisuudet on pidettävä turvallisella tasolla tiloissa, joissa ihmiset toimivat. Jotta ilmankoostumuksen muutoksiin voidaan reagoida, täytyy kaasujen pitoisuutta mitata reaaliajassa. Tähän tehtävään on kehitetty kaasuantureita, jotka reagoivat kaasuihin synnyttämällä sähköistä tai optista signaalia, joka on verrannollinen kaasupitoisuuden kanssa. (2, luku 1.) Kuvassa 1 on havainnollistettu räjähdysuojatun kaasunilmaisimen ulkoista rakennetta.



KUVA 1. Kaasunilmaisim (3)

1.1 Historia ja perusteet

Ensimmäisen kaasunilmaisimen keksijänä pidetään Sir Humphry Davya. Hän kehitti kaivosteollisuuden tarpeisiin lampun, jonka avulla kaivostyöläiset pystyivät havainnoimaan ilman kaasupitoisuutta lampussa palavan liekin värin ja pituuden perusteella. Lampun fyysinen rakenne estää ympäröivän kaasun syttymisen. Tämä keksintö paransi kaivostyöläisten turvallisuutta huomattavasti ja tehosti samalla hiilen tuotantoa. (4; 5.)

Sosiaali- ja terveysministeriö asettaa työympäristön epäpuhtauksille sitovia ja ohjeellisia raja-arvoja. Näitä kutsutaan HTP-arvoiksi, jotka kootaan noin kahden vuoden välein päivitettävään HTP-kirjaan. Ohjeelliset raja-arvot pyritään määrittämään sellaisiksi, että ne ovat järkevästi saavutettavissa. Ohjeellisten raja-arvojen tavoitteena on määrittää pitoisuus, jonka puitteissa altistuminen on niin vähäistä, ettei siitä koidu merkittävää terveysriskiä. Sitovien raja-arvojen ylittyessä työnantaja on velvollinen reagoimaan välittömästi laskemalla altistuminen turvalliselle tasolle. (6.)

Terveydelle haitallisten kaasujen lisäksi on olemassa kaasuja, jotka voivat muodostaa ilman kanssa räjähtävän seoksen. Palavien aineiden pitoisuuksille ilmassa on määritelty raja-arvot, joiden sisällä räjähdys on mahdollinen. Aineen pitoisuuden ylittäessä alemman räjähdysrajan (LEL), räjähdys on mahdollinen. Pitoisuuden noustessa yli ylemmän räjähdysrajan (UEL) räjähdystä ei voi tapahtua. Huomionarvoista on aineiden kuten asetyleenin kyky reagoida eksotermisesti eli lämpöä tuottavasti ilman hapen läsnäoloa. (7, luku 4.2.4.b.)

1.2 Kaasunilmaisimen valinta

Kaasunilmaisimen valinta perustuu useisiin tekijöihin, joista ensimmäinen on mitattavan kaasun ominaisuudet. Palavia ja myrkyllisiä kaasuja sekä happea mittaavilla laitteilla on omat toimintaperiaatteensa, jotka rajaavat soveltuvan anturielementin tyyppiä. Toimintaperiaatteen lisäksi anturityypin valintaan vaikuttavat mitta-alue ja olosuhteet, joissa anturin on määrä toimia. (8.)

Kaasuanturin toiminnan kannalta kriittisimpiä ominaisuuksia ovat herkkyys kohdekaasun tunnistuksessa, selektiivisyys kohdekaasuun, palautumisaika altistumisen jälkeen, reaktio-aika kaasun ilmetessä sekä mittauksen toistotarkkuus. (9, luku 1.5.)

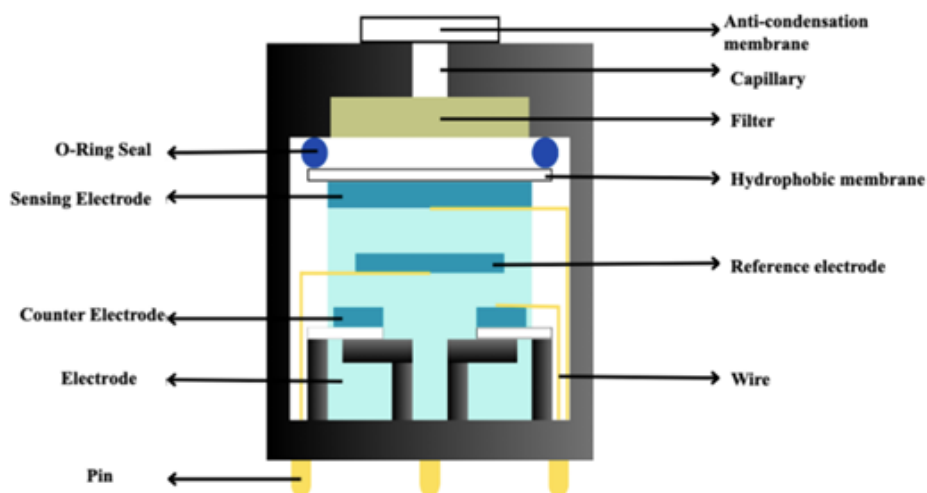
Anturin valinnassa tulisi huomioida jokaiselle anturityypille ominaiset suorituskykyä heikentävät ulkoisista tekijöistä johtuvat ilmiöt, kuten mittaelementin kuluminen, mittauksen satu-raatio tai optiset esteet. (10, luku 5.2.5.)

Seuraavissa kappaleissa käsitellään yleisiä kaasuntunnistuksen periaatteita, jotta ymmärrys kaasunvalvonnasta syvenisi ja osattaisiin valita parhaiten soveltuvat mittausteknologiat toteutettavaan sovellukseen.

1.3 Myrkyllisten kaasujen tunnistus

Sähkökemiallinen anturi on yksi yleisimmistä myrkyllisen kaasun tunnistukseen käytettävistä menetelmistä. Mittaus perustuu mitattavan kaasun pelkistys- tai hapettumisreaktion aiheuttamaan sähkövirran muutokseen. (11, s. 68.)

Kuvassa 2 esitellään sähkökemiallisen anturin sisäistä rakennetta. Tällainen anturi koostuu kolmesta elektrodista, erotuskalvosta ja elektrolyyttisestä liuoksesta, jotka on koottu anturielelementtiin. Mitattava kaasu kulkee erotuskalvon läpi elektrolyyttiseen liuokseen. Kaasu reagoi liuoksen ionien kanssa synnyttäen sähkövirtaa. (8.)



KUVA 2. Sähkökemiallisen anturin rakenne (9, s. 9)

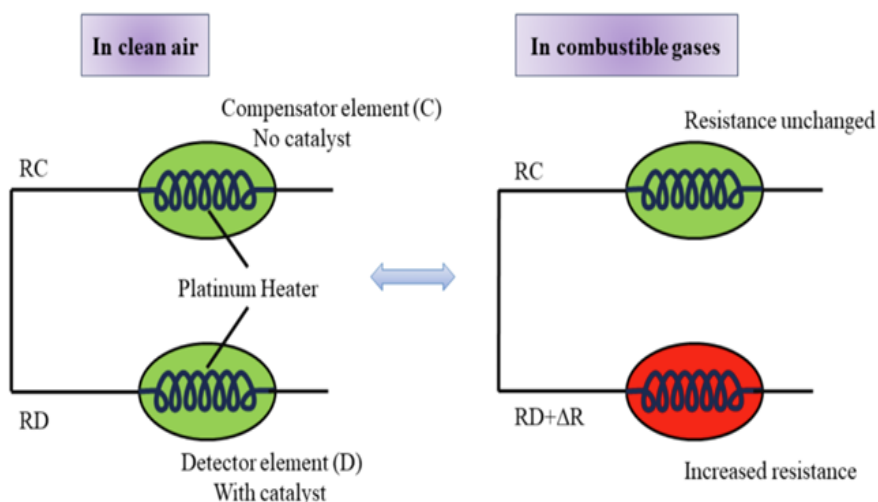
Amperometrinen eli sähkövirtaa tarkkaileva anturi ylläpitää tasaista jännitettä, jonka seurauksena mitattava kaasu pelkistyy anodissa tai katodissa. Reaktio nostaa anodin ja katodin välisen piirin virtaa, joka on suhteellinen ilmassa olevan kaasun määrään. (12, s. 28.)

Sähkökemiallisten antureiden vahvuuksia ovat erinomainen tarkkuus ja selektiivisyys, nopea vasteaika ja matala virrankulutus. Sähkökemialliset anturit säilyttävät tarkkuutensa myös pitkällä aikavälillä. Menetelmän heikkouksia ovat kallis hankintahinta, korkeat ylläpitokustannukset sekä huono sietokyky lämpötilan ja kosteuden vaihteluille. (9, s. 10)

1.4 Palavien kaasujen tunnistus

Katalyyttinen tunnistus on palaville kaasuille käytetty tunnistusmenetelmä, jonka toimintaperiaate on mitata kaasun hapettumisreaktiosta syntyvän lämmön vaikutusta resistanssiin. Anturi koostuu tunnistuselementistä ja kompensatioelementistä. (8.)

Kuva 3 ilmentää katalyyttisen anturin rakennetta ja toimintaperiaatetta. Tunnistuselementti sisältää jalometallilangan, johon on sintrattu hapetus-katalyytti. Lanka lämmitetään kuumaksi sähkövirran avulla. Kaasun osuessa tunnistuselementtiin, se reagoi langassa olevan katalyytin kanssa palaen. Reaktiosta syntyvä lämpö muuttaa tunnistuslangan resistanssia. (8.)



KUVA 3. katalyyttisen tunnistuksen toimintaperiaate ja rakenne (9, s. 5)

Kompensaatioelementti on rakenteeltaan samanlainen, mutta siinä olevaa lankaa ympäröi kaasun kanssa reagoimaton aine. Kompensaatioelementin tehtävänä on mitata ympäröivän tilan lämpötilavaihteluita. Näin voidaan poissulkea mittaukseen vaikuttavat ulkoiset tekijät, kuten ympäristön lämpötilan nousu. (8.)

Katalyyttisen kaasuanturin vahvuuksia ovat selektiivisyys myös pienillä pitoisuuksilla, nopea vasteaika, laaja soveltamisala erilaisille kaasuille, yksinkertainen toimintaperiaate sekä pitkä elinkaari. Menetelmän heikkoutena on mittaelementin alttius tietyille kemikaaleille sekä il-
mankosteuden vaihteluille. Katalyyttinen tunnistus voi kuluttaa enemmän virtaa muihin tunnistustekniikoihin verraten ja sen asettumisaika voi olla liian pitkä sovelluksissa, joissa nopea mittaus on välttämätöntä. (9, s. 5)

2 AUTOMAATIOLAITTEIDEN KOMMUNIKAATIO

Automaatiolaitteet kuten ohjainlaitteet, mittalaitteet ja toimilaitteet vaativat keskinäistä kommunikaatiota toimiakseen. Jotta järjestelmä voi vastaanottaa tietoa sen piirissä tapahtuvista muutoksista ja suorittaa toimintoja sen pohjalta, täytyy laitteiden välillä olla yhteys. Seuraavissa kappaleissa perehdytään automaatiolaitteiden väliseen tiedonsiirtoon kehitettyihin kommunikaatoratkaisuihin.

2.1 Analoginen ja digitaalinen signaali

Signaali on tunnistettava tai mitattava suure, jonka amplitudi vaihtelee ajan funktiona. Signaalilla voidaan välittää tietoa tapahtumasta tai prosessista, jota halutaan valvoa. Sähköinen signaali on jännitteen tai sähkövirran vaihtelua, jota tuotetaan anturien ja lähettimien avulla. (13, s. 1.)

Analogista signaalia voidaan käyttää ilmentämään jonkin jatkuvan, hitaasti muuttuvan tapahtuman seuraamiseen. Analogisen signaalin amplitudi voi ottaa minkä tahansa arvon sille määritellyllä alueella. (13, s. 2.) Analogista signaalia käytetään sovelluksissa, joissa vaaditaan tarkkuutta ja asteittaista säätöä, jotta päästäisiin haluttuihin tuloksiin. Tällaisia sovelluksia ovat esimerkiksi proportionaaliohjaus tai mittauspiirit. (14.)

Digitaalisen signaalin amplitudi voi ottaa vain tiettyjä arvoja määritellyltä alueelta. Mikäli digitaalinen signaali on binäärinen, sen arvoja voivat olla vain 1 tai 0. (12, s.2.) Signaalimuunnin kääntää analogisen signaalin digitaaliseen muotoon. Kääntämällä analoginen viesti digitaaliseen muotoon, voidaan fyysisestä ilmiöstä syntyvää signaalia hyödyntää signaalin prosessoinnissa, laskennassa ja tiedonkeruussa. (15, s. 292.)

2.2 Kenttäväylät

Nykyaikainen kenttäväylä on kaksisuuntainen digitaalinen sarjaviestintäyhteys automaatiolaitteiden välillä. Kenttäväylille ominainen kaksisuuntainen kommunikaatio mahdollistaa datan lukemisen ja kirjoittamisen älykkäistä antureista. Kenttäkommunikaation evoluutio on alkanut pneumaattisesta tekniikasta, jota seurasi jänniteviestintä. Jännitteen välityksellä toimivasta kommunikaatiosta siirryttiin sähkövirran välityksellä toimivaan tiedonsiirtoon. (16, s. 203.)

Modernin väyläteknologian etu verrattaessa perinteiseen virta- tai jänniteviestintään on sen yksinkertainen rakenne. Käytettäessä perinteistä virtaviestiteknologiaa, jokaiselle valvottavalle arvolle on oltava oma johdin, jota pitkin tieto välittyy. Digitaalisen tiedonsiirron ansiosta yhdellä kaapelilla voidaan olla yhteydessä useisiin kenttälaitteisiin. Kenttäväylätyyppejä ovat esimerkiksi PROFIBUS, HART, Modbus ja Devicenet. (16, s. 205.)

2.3 HART

Hart eli highway addressable remote transducer on ainoa kaksisuuntainen kommunikaatio-protokolla, joka yhdistää perinteisen analogisen 4-20mA alueella toimivan virtasignaalin nykyaikaisen digitaalisen väyläteknologian kanssa. (16, s. 227–246.)

Hart-protokollan etuja ovat yhtäaikainen analoginen ja digitaalinen kommunikaatio, yhteensopivuus perinteisiin analogisiin järjestelmiin sekä tuki monimuuttujakenttälaitteille. HART:in toiminta perustuu enkoodaukseen, jossa analogiaviesti muunnetaan Bell 202 FSK -standardin mukaiseksi taajuudeksi. (16, s. 227–246.)

3 JÄRJESTELMÄSUUNNITTELU

Seuraavissa luvuissa käsitellään järjestelmän tilaajan eli asiakkaan määrittämiä toiminnallisia ja järjestelmän käyttöön liittyviä vaatimuksia, joiden pohjalta sovellus toteutetaan. Toiminnalliset vaatimukset keskittyvät tehtäviin, joita järjestelmä suorittaa. Käyttöliittymän vaatimukset painottavat sovelluksen käytön selkeyttä ja mukavuutta.

3.1 Toiminnalliset vaatimukset

1. Järjestelmä valvoo tilassa käytettävien kaasujen pitoisuuksia ilmassa

Järjestelmä valvoo tilassa käytettävien kaasujen pitoisuuksia reaaliajassa tarkkuudella, jolla voidaan varmistaa turvallinen työskentely. Järjestelmän tulee kyetä toimimaan määritellyn ajan myös ulkoisen virransyötön katketessa. Lisäksi järjestelmän on sovelluttava alueille määriteltyihin tilaluokituksiin.

2. Integrointi muihin turvajärjestelmiin

Järjestelmän tulee kommunikoida kriittiset tiedot, kuten hälytykset ja vikatiedot, ylempään prosessinohjausjärjestelmään. Järjestelmän hälytysrajoja täytyy olla mahdollista muokata ylemmästä ohjausjärjestelmästä.

3. Järjestelmä ohjaa tilan ilmanvaihtoa

Järjestelmä ohjaa tilan ilmanvaihtoa ja reagoi kaasupitoisuuden nousuun tehostamalla ilmanvaihtoa.

4. Järjestelmä ohjaa kaasunsyötön sulkuventtiilejä

Järjestelmä sulkee automaattisesti kaasunsyötön venttiilit kaasupitoisuuden noustessa tai palovaaran ollessa läsnä.

5. Järjestelmä ohjaa hälytyksiä ja varoitusvaloja

Järjestelmä kytkee hälytykset ja/tai varoitusvalot terveys- tai räjähdysriskin ollessa läsnä.

3.2 Käyttöliittymän vaatimukset

1. Hälytykset

Hälytykset näkyvät käyttöliittymässä värikoodattuina: mittatiedon puuttuminen (keltainen) ja raja-arvon ylittyminen (punainen). Järjestelmän tilan ollessa turvallinen, hälytystilat voidaan kuitata painamalla Kuittaus-painiketta.

2. Mittaukset

Kaasujen mitta-arvot esitellään käyttöliittymässä PPM-lukuina tai prosenttiarvoina. Järjestelmä tallentaa historiatietoja kaasupitoisuuden muutoksista.

3. Pikatoiminnot

Käyttäjä voi suorittaa tärkeitä toimintoja yhdellä painalluksella, kuten "ilmanvaihdon tehostus" tai "kaasunsyötön sulkku".

4. ilmanvaihdon ohjaus

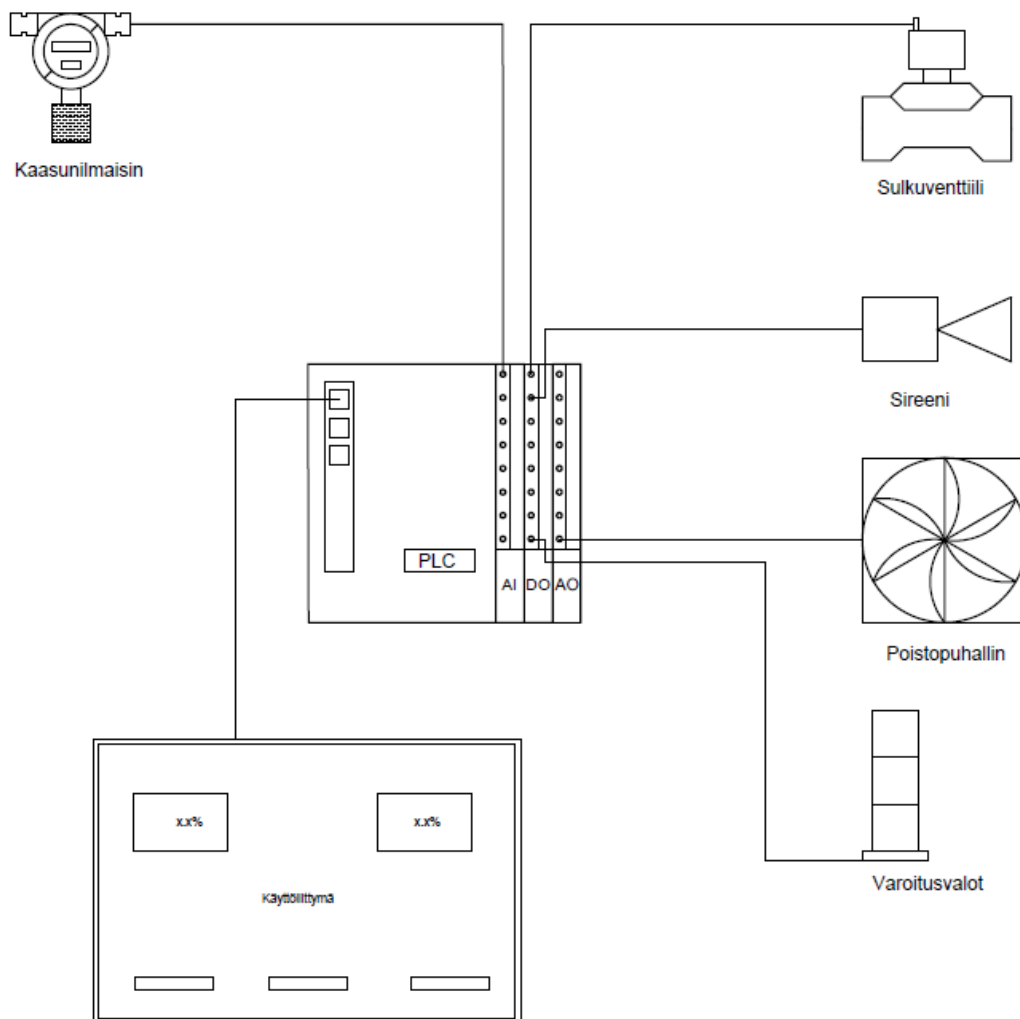
Ilmanvaihdon voimakkuutta voidaan säätää käyttöliittymän liukusäätimellä.

5. Huoltotila

Järjestelmään luodaan huoltotila, joka on vain huoltohenkilöstön käytettävissä. Huoltotilaan toteutetaan järjestelmän toimintojen testausominaisuudet sekä vikailmoitusten ja hälytysten historiatiedot. Hälytysrajojen muokkaaminen täytyy olla mahdollista huoltotilassa.

3.3 Järjestelmän rakenne ja laitevalinta

Kuva 4 visualisoi kaasunvalvontajärjestelmän rakennetta, komponentteja ja niitä yhdistäviä kytkentöjä. Järjestelmä koostuu kaasunilmaisimista, logiikkaohjaimesta eli PLC:stä, käyttöliittymästä, kaasunsyötön sulkuventtiileistä, poistopuhaltimista sekä hälytyslaitteista. Seuraavissa kappaleissa käsitellään järjestelmän komponenttien rooleja turvallisuuden varmistamisessa sekä perustellaan niiden valintaa.



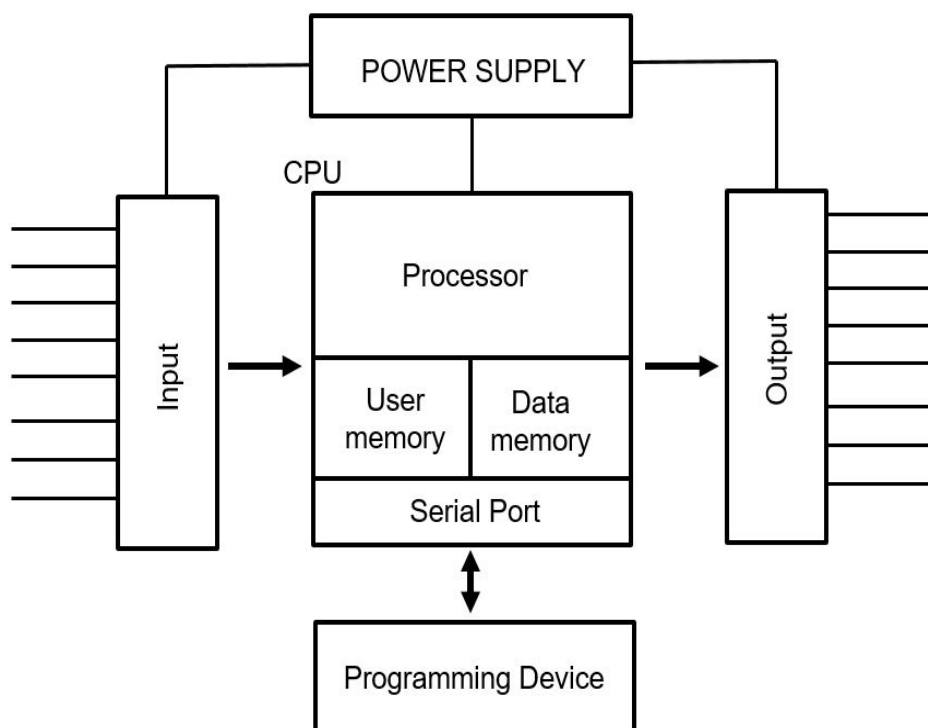
KUVA 4. kaasunvalvontajärjestelmän rakenne

3.3.1 Ohjelmoitava logiikka

PLC eli ohjelmoitava logiikkaohjain on teollisiin olosuhteisiin suunniteltu tietokone, jota käytetään automaatiojärjestelmän ohjauksessa. PLC koostuu prosessorista, tulo- ja lähtöter-

minaaleista eli I/O-korteista ja virtalähteestä. PLC vastaanottaa antureiden ja toimilaitteiden tilatietoja ja signaaleja analogisten ja digitaalisten I/O-korttien sekä kenttäväylän avulla.

PLC:n tehtävänä on suorittaa sovellusohjelman määrittämiä toimilaitteiden ohjauksia perustuen sen vastaanottamiin arvoihin, joita tässä sovelluksessa ovat kaasunilmaisimien mittaamat pitoisuudet. PLC:n ohjaamia toimilaitteita ovat kaasunsyötön sulkuventtiilit, poistopuhaltimet, varoitusvalot ja sireenit. PLC-laitteen sisäinen rakenne on kuvattu lohkokaaviona kuvassa 5.



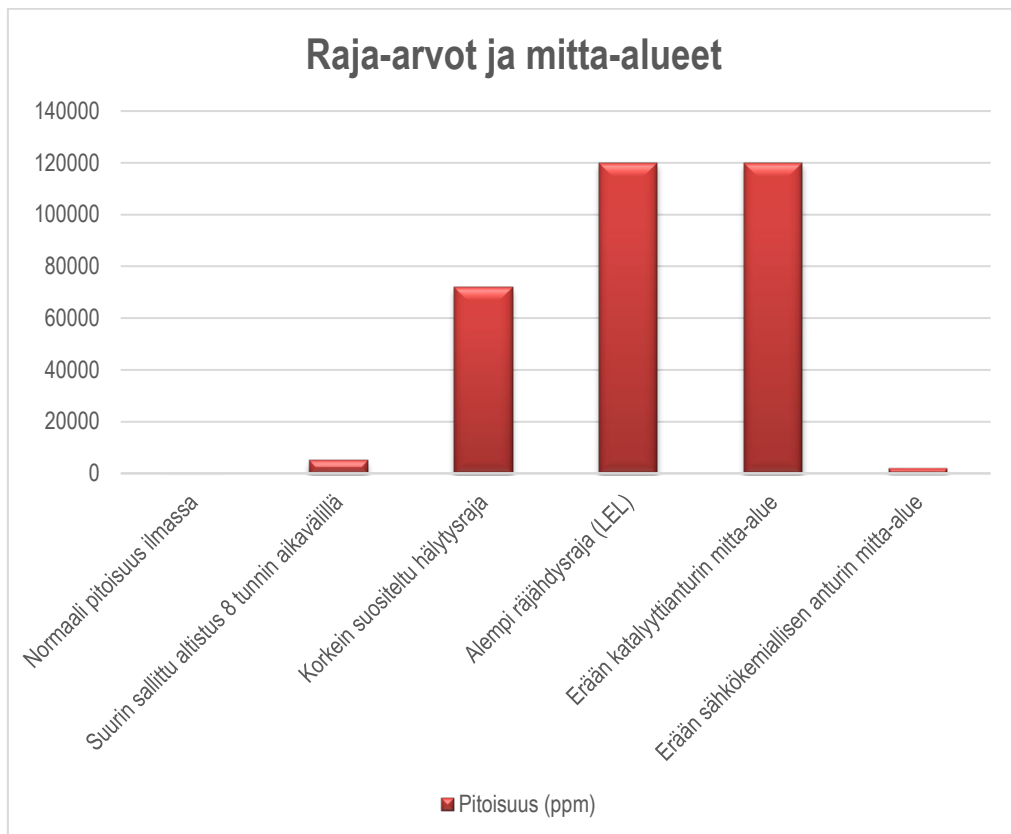
KUVA 5. PLC-lohkokaavio (17)

PLC-yksikön valmistajan valintaan vaikuttaa soveltuvien komponenttien saatavuuden lisäksi aikaisemmat kokemukset automaatiojärjestelmistä, valmistajista sekä valintatyökalujen helppokäyttöisyydestä. PLC-yksikön valmistajan valinnan myötä oli luonnollista käyttää samaa valintatyökalua ja yhteensopivia komponenttisarjoja myös muissa ohjausjärjestelmän osissa.

Järjestelmän PLC-yksiköksi eli ohjaimeksi valittiin Beckhoff Automationin CPX27xx-001. Laite on paneelityyppinen pc, johon on integroitu kosketusnäyttö. Laite soveltuu asennettavaksi esimerkiksi automaatiokeskuksen oveen, mikä vapauttaa tilaa automaatiokeskuksen sisälle asennettaville kiskokiinnitteisille komponenteille. Paneeli-PC yksinkertaistaa myös keskuksen johdotusta, sillä kosketusnäytölle toteutettavan käyttöliittymän ja logiikkaohjaimen välinen yhteys on sisäisesti toteutettu. Laite on hyväksytty käytettäväksi räjähdysvaarallisissa tiloissa vyöhykkeillä 2 ja 22. CPX2715-001 paneeli-pc toimitetaan erillisen virtalähteen kanssa.

3.3.2 Kaasunilmaisimet

Kaasunilmaisimet vastaavat prosessitilassa olevien kaasujen tunnistamisesta. Kaasunilmaisimien mittaa tilan kaasupitoisuutta reaaliajassa ja kommunikoi mitta-arvon järjestelmää ohjaavaan logiikkaohjaimeseen. Mitta-arvon perusteella ohjataan järjestelmän turvatoimintoja kuten poistopuhaltimia, hälytyksiä ja sulkuventtiilejä.



KUVA 6. Vertailu erään kaasun raja-arvojen ja antureiden mitta-alueiden välillä. (3; 6.)

Kaasunilmaisimia valitessa täytyi valita mitta-alue, jolla valvonta suoritetaan. Kuvaan 6 on kerätty Terveyden ja hyvinvoinnin laitoksen ilmoittamia erään kaasun pitoisuuden raja-arvoja sekä kaasunvalvontalaitteiden valmistaja Detectorin ilmoittamia kyseisen kaasun tunnistukseen soveltuvien anturien mitta-alueita. Kuvasta voidaan todeta, että terveydelle haitallisen ja räjähdysvaarallisen kaasupitoisuuden ero voi olla suuri. Myös anturiteknologioiden väliset erot voivat olla suuria.

Mittaustuloksen tarkkuuteen vaikuttavat mitta-alueen laajuus sekä I/O-kortin resoluutio. Sovellukseen valittu 16-bittinen tulokortti pystyy teoriassa lukemaan 65536 arvoa määritellyltä alueelta. Tällöin esimerkiksi 0–1000 PPM mitta-alueen tulos on tarkempi kuin 0–20 000 PPM mitta-alueen, koska pienemmälle mitta-alueelle on prosentuaalisesti enemmän mittapisteitä.

Tämän sovelluksen pääasiallisena tehtävänä on valvoa henkilöturvallisuutta, joten kohdekaasuja valvovien antureiden mitta-alueet valittiin ensisijaisesti THL:n ilmoittamien altistusrajojen mukaan. Tämä tarkoittaa, että järjestelmä mittaa kaasupitoisuuksia pääasiassa PPM mitta-asteikon alueella 0–5000.

Sovellukseen valittiin tilaluokituksen mukaiset Hart-kenttäväylään yhteensopivat kaasunilmaisimet. Hart-yhteensopivat anturit mahdollistavat kaksisuuntaisen digitaalisen kommunikation, jonka avulla voidaan suorittaa diagnostiikka anturien kunnosta sekä toteuttaa kalibrointi langattomasti. Valvottavien kaasujen ominaisuuksien sekä vaatimukset täyttävien laitteiden saatavuuden vuoksi päädyttiin käyttämään katalyyttistä ja sähkökemiallista tunnistustapaa hyödyntäviä antureita.

3.3.3 Tulo- ja lähtösignaalit

Alla olevassa taulukossa 1 listataan kaikki ohjausjärjestelmään kytkettävät laitteet, jotka vaativat oman tulo- tai lähtöterminaalinsa. Lisäksi taulukossa esitellään kunkin laitteen käyttämän signaalin tyyppi ja amplitudi.

TAULUKKO 1. Listaus järjestelmään kytkettävistä komponenteista ja niiden signaaleista

Laite	Tulo/Lähtö signaali	Signaalin tyyppi	Amplitudi
Anturi	Tulo	HART	(4–20 mA)
Anturi	Tulo	HART	(4–20 mA)
Anturi	Tulo	HART	(4–20 mA)
Anturi	Tulo	HART	(4–20 mA)
Poistopuhallin	Lähtö	Analoginen	(4–20 mA)
Poistopuhallin	Lähtö	Analoginen	(4–20 mA)
Sulkuventtiili	Lähtö	Digitaalinen	(0/24 VDC)
Sulkuventtiili	Lähtö	Digitaalinen	(0/24 VDC)
Sulkuventtiili	Lähtö	Digitaalinen	(0/24 VDC)
Sulkuventtiili	Lähtö	Digitaalinen	(0/24 VDC)
Hälytys sireeni	Lähtö	Digitaalinen	(0/24 VDC)
Merkinantovalvo (Punainen)	Lähtö	Digitaalinen	(0/24 VDC)
Merkinantovalvo (Keltainen)	Lähtö	Digitaalinen	(0/24 VDC)
Merkinantovalvo (Vihreä)	Lähtö	Digitaalinen	(0/24 VDC)

Tulo- ja lähtöterminaalien valinnassa päätettiin käyttää HART-kommunikaatioprotokollaa tukevia komponentteja, jotta järjestelmän johdotus olisi yksinkertaisempaa. Tämän lisäksi HART mahdollistaa diagnostiikka- ja huoltotoimenpiteiden suorittamisen etänä. PLC:n tulo-terminaalipuolelle valittiin analogiset Hart-protokollaa tukevat ELX3181 I/O-kortit vastaanottamaan kaasuantureiden signaalia. Soveltuvia I/O-kortteja on saatavilla yksi- ja neljäkanavaisena. Anturisignaalien vastaanottaminen olisi onnistunut yhdellä monikanavaisella kortilla, mutta toimintavarmuuden kasvattamiseksi jokaiselle anturisignaaliin valittiin 1-kanavainen kortti. Tällä varmistetaan, että yksittäisen I/O-kortin vioittuminen ei pysäytä järjestelmän toimintaa täysin.

PLC:n lähtöterminaalipuolelle valittiin analogiset Hart-protokollaa tukevat ELX4181 I/O-kortit ohjaamaan tuotantotilan poistopuhaltimien taajuusmuuttajia. Molemmille puhaltimille

valittiin erilliset kortit toimintavarmuuden varmistamiseksi. Varoitusvalojen ja sireenin ohjaukseen valittiin 3 kappaletta 2-kanavaisia digitaalisia ELX2002 I/O-kortteja.

Kaasunsyötön sulkuventtiilien ohjaukseen valittiin 4 kappaletta 2-kanavaisia digitaalisia ELX2792 I/O-kortteja. Sulkuventtiilien ohjaukseen käytettävien korttien valinnassa rajavana tekijänä oli kortin virransyöttökapasiteetti. Sulkuventtiilien ohjaus haluttiin toteuttaa suoralla kaapeloinnilla I/O-kortista venttiileille ilman ulkoista virransyöttöä. Tämän mahdollistamiseksi täytyi valita I/O-kortti, jonka virransyöttökapasiteetti on riittävä valitun sulkuventtiilin operointiin. Taulukossa 2 esitellään jokaiselle laitteelle valittu PLC-komponentti tai terminaali.

TAULUKKO 2. Valittujen logiikkakomponenttien listaus

Laite	I/O tyyppi	Signaalin tyyppi	Amplitudi
PLC	CPX2715-001	-	-
Virtalähde	ELX9560	-	-
Kaasuanturi	ELX3181	Hart	(4–20 mA)
Kaasuanturi	ELX3181	Hart	(4–20 mA)
Kaasuanturi	ELX3181	Hart	(4–20 mA)
Kaasuanturi	ELX3181	Hart	(4–20 mA)
Sulkuventtiili	ELX2792	Digitaalinen	(0/24 VDC)
Sulkuventtiili	ELX2792	Digitaalinen	(0/24 VDC)
Sulkuventtiili	ELX2792	Digitaalinen	(0/24 VDC)
Sulkuventtiili	ELX2792	Digitaalinen	(0/24 VDC)
Poistopuhallin	ELX4181	Analoginen	(4–20 mA)
Poistopuhallin	ELX4181	Analoginen	(4–20 mA)
Hälytys sireeni	ELX2002	Digitaalinen	(0/24 VDC)
Merkinantovalo (Punainen)	ELX2002	Digitaalinen	(0/24 VDC)
Merkinantovalo (Keltainen)	ELX2002	Digitaalinen	(0/24 VDC)
Merkinantovalo (Vihreä)	ELX2002	Digitaalinen	(0/24 VDC)

3.3.4 Käyttöliittymä

HMI eli human machine interface on automaatiotekniikassa käytettävä termi, joka viittaa ihmisen ja laitteen väliseen rajapintaan eli käyttöliittymään. Käyttöliittymä kommunikoi PLC:n kanssa ja välittää operaattorille tärkeitä tietoja kuten mitta-arvoja, virheilmoituksia ja hälytyksiä. Operaattori ohjaa ja valvoo järjestelmää HMI-rajapinnan kautta. Selkeyden ja käyttömukavuuden vuoksi päädyttiin käyttämään kosketusnäyttöpaneelia, johon luotiin graafinen käyttöliittymä.

Graafinen käyttöliittymä mahdollistaa monipuolisen tila- ja mittaustietojen sekä vikahistorian esittämisen mikä puolestaan yksinkertaistaa järjestelmän fyysistä rakennetta verrattuna fyysisillä painikkeilla ja mittareilla toteutettuun käyttöliittymään. Graafisen käyttöliittymän on myös helppo päivittää, mikäli sovellusta halutaan muokata tai järjestelmään lisätään uusia ominaisuuksia. PLC:n valinnassa päädyttiin käyttämään paneeli-PC:tä, käyttöliittymää varten ei tarvinnut valita erillistä laitetta.

3.3.5 Kaasunsyötön sulkuventtiilit

Prosessilaitteistolla on omat kaasunsyöttöventtiilit, joita hallitaan prosessinohjausjärjestelmän kautta. Prosessilaitteiston venttiilien lisäksi kaasunsyöttöön on liitetty erilliset sulkuventtiilit. Turvallisuuden ja toimintavarmuuden vuoksi kaasunsyötön sulkuventtiilit on erotettu prosessilaitteistosta osaksi kaasunvalvontajärjestelmää ja niiden tehtävänä on varmistaa prosessilaitteiston kaasunsyötön katkaisu kaasuvuodon tai vikatilanteen ilmetessä.

Kaasunsyötön katkaisuun valittiin Bürkertin valmistama Type 6240 Servoavustettu mäntäventtiili. Venttiili on saatavilla NC-rakenteella. NC-venttiili on nollaenergiatilassa suljettu, mikä varmistaa, että kaasunsyöttö katkeaa luonnollisesti sähkönsyötön katketessa. Venttiilin ohjaaminen on mahdollista 24 VDC jännitteellä, joten sitä voidaan operoida suoraan PLC-ohjaimen lähtöterminaalista saatavalla signaalilla ilman erillistä relettä ja ulkoista virtalähdettä. Sopivan ohjaus ja toimintaperiaatteen lisäksi venttiili soveltuu kaikille sovelluksessa käytettäville kaasuille sekä tila- ja paineluokalle.

3.3.6 Poistopuhaltimet

Poistopuhaltimet huolehtivat yhdessä ilmalämpöpumpun kanssa tilan ilmanvaihdosta. Vaaratilanteessa puhaltimien tehtävänä on laimentaa tilan kaasupitoisuutta, jotta välttyttäisiin räjähdyksiltä ja myrkytyksiltä. Puhaltimien valinnan tärkeimpinä valinta kriteereinä olivat Atex-luokitus, ilmavirran tuottookyky, ilmanvaihdon kanavakoko, virransyötön tyyppi sekä asennus- ja ohjaustapa.

Koska puhallinta haluttiin ohjata fyysisen säätimen lisäksi PLC-ohjaimen välityksellä, täytyi valita puhallinmalli, joka sopii taajuusmuuttajakäyttöön. Poistopuhaltimiksi valittiin Systemairin RVK-EX-sarjan poistopuhaltimet. Puhaltimia ohjataan PLC:n kautta Eatonin ACE10-sarjan taajuusmuuttajalla.

3.3.7 Merkinantovalot ja sireeni

Varoitusvalot ja sireeni ovat kriittisessä roolissa vaaratilanteen ilmetessä. Audiovisuaalisten ilmoitusten tehtävänä on kiinnittää operaattoreiden huomio mahdollisimman tehokkaasti vaaran uhatessa. Vaaratilanteiden lisäksi hälytyslaitteita voidaan hyödyntää järjestelmän vikatilanteiden ilmoittamisessa.

Varoitusvaloksi valittiin Atex-tilaan soveltuva Eco-Modul 70 -valomasto. Valomaston modulaarinen rakenne mahdollistaa tarvittaessa kuuden eri värin toistamisen sekä 100 desibeliä tuottavan summerin liittämisen osaksi valomastoa. Laitteen valo- ja summerimoduuleja voidaan ohjata erillisesti suoraan PLC:n digitaalilähtökortin välityksellä.

3.3.8 Varavirtalähde

Varavirtalähde eli UPS on sähkönsyötön rinnalla toimiva virtalähde, joka takaa järjestelmän komponenteille jatkuvan virransyötön sähkökatkoksen aikana. Varavirtalähde suojaaa prosessin pysähtymiseltä tilanteessa, jossa kaasunvalvontajärjestelmän virransyötön vika katkaisisi kaasunsyötön prosessilaitteistoon.

Varavirtalähteen valinnan lähtötietona olivat 2-luokan Atex-tila, 266 Watin yhteenlaskettu maksimivirrankulutus, 24 voltin jännite ja 8 tunnin käyttökapasiteetti. Tarvittava kokonaisenergian määrä 8 tunnin käyttöön saatiin kertomalla virrankulutus käyttöajalla ja tulokseksi saatiin 2128 wattituntia. Varavirtalähteeksi valittiin Extronics iBatt100, jonka kapasiteetti on 3600 wattituntia.

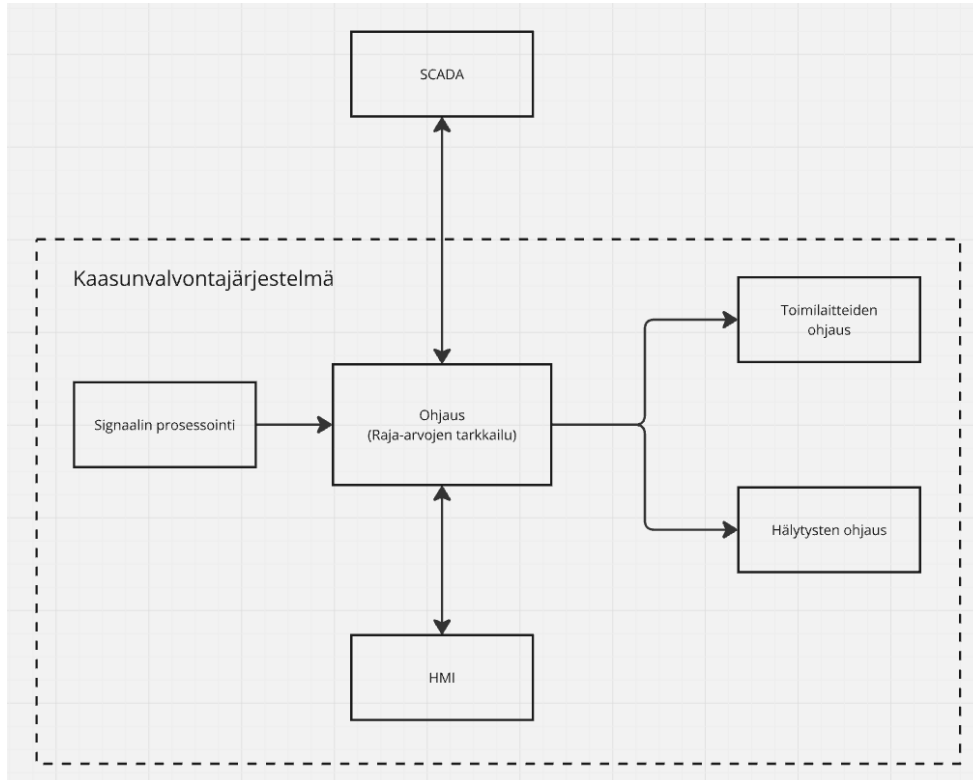
4 SOVELLUSOHJELMASUUNNITTELU

Sovellusohjelma on järjestelmän osa, joka mahdollistaa järjestelmän komponenttien toiminnan halutulla tavalla. Sovellusohjelma koostuu PLC-ohjaimen muistiin ja käyttöjärjestelmään kirjoitetuista komentoriveistä ja konfiguraatioista. Seuraavissa kappaleissa käsitellään sovellusohjelman rakennetta sekä sen eri osien funktioita.

4.1 Sovellusohjelman rakenne

Sovellusohjelman päätehtävänä on mahdollistaa järjestelmän komponenttien ohjaaminen ja valvonta. Ohjelman lähdekoodi kirjoitettiin kansainvälisen standardin IEC 61131-3 mukaisella Structured Text -ohjelmointikielellä Beckhoff Automationin TwinCAT 3 -ohjelmointiympäristössä. Sovellusohjelma on pyritty toteuttamaan mahdollisimman selkeällä ja yksinkertaisella tavalla, jotta sen kehittäminen, ymmärtäminen ja huoltotoimenpiteiden suorittaminen olisi tehokasta. Lähdekoodin selkeyttämiseksi sovellusohjelma on jaettu ohjelmalohkoihin, joita suoritetaan halutussa järjestyksessä. Ohjelmalohkot ovat sovellusohjelman lähdekoodin osa-alueita, jotka suorittavat tehtäviä annettujen parametrien perusteella.

Kuvassa 7 esitetystä vuokaaviosta ilmenee yksinkertaistettu ohjelmaloikoista koostuva sovellusohjelman rakenne. Sovellusohjelma suorittaa yhden ohjelmakierron aikana kuvassa esitetyt ohjelmalohkot kronologisessa järjestyksessä vasemmalta oikealle.



KUVA 7. Sovellusohjelmarakenne

Anturisignaali vastaanotetaan signaalin prosessointilohkoon, jossa se muunnetaan käsiteltävään muotoon. Tämän jälkeen prosessoitu signaali siirtyy raja-arvotarkkailuun, jossa tarkistetaan, onko mitattu arvo määriteltyjen rajojen sisässä. Mitatut arvot kommunikoidaan paikalliseen käyttöliittymään. Ohjausjärjestelmä kommunikoi kriittisimmät tiedot ylempään hallintajärjestelmään eli SCADA-järjestelmään (Supervisory Control and Data Acquisition). Jos mitattu arvo poikkeaa määritellyistä rajoista, siitä lähetetään tieto hälytyksiä ja toimilaitteita ohjaaviin toimilohkoihin, jotka suorittavat tilanteen vaatimat toimenpiteet. Seuraavissa kappaleissa kuvataan yksityiskohtaisemmin ohjelmalohkojen toimintaa.

4.2 Signaalin prosessointi

PLC:n analogiatulo vastaanottaa anturin lähettämän analogisen signaalin (4-20mA) ja muuttaa sen digitaaliseen muotoon kokonaisluvuksi. Käytettävä kokonaislukualue vaihtelee automaatiolaitteiden valmistajien välillä. Tässä sovelluksessa alue on 0–32767. Tämän jälkeen kokonaisluku syötetään ohjelmalohkoon ja skaalataan sopivalle tarkastelualueelle. Skaalattu alue rajautuu kohdekaasun havaitsevan mittalaitteen tunnistuskyvyn mukaan joko PPM-alueelle tai tilavuusprosenttialueelle. Kuvassa 8 esitellään signaalia prosessoivan ohjelmalohkon skaalausfunktiota.

```
1 PROGRAM Sensor_Input
2 VAR
3
4 //Sensor raw input
5 SensorO2RawSignal      AT%I* :INT;
6
7 // Scaling variables
8 RawMin                 :INT := 6555;    // Raw value corresponding to 4 mA (assuming a 16-bit ADC)
9 RawMax                 :INT := 32767;   // Raw value corresponding to 20 mA (assuming a 16-bit ADC)
10 PercentageMin         :REAL := 0.0;    // Minimum percentage (0%)
11 PercentageMax         :REAL := 100.0;  // Maximum percentage (100%)
12
13 //Invalid signal indication
14 SensorSignalValid     AT%Q* :BOOL;
15 END_VAR
16
17 //Condition check for preventing dividing by zero
18 IF (SensorO2RawSignal < RawMax) AND
19 (SensorO2RawSignal > RawMin) AND
20 (RawMin > 0) AND
21 (RawMax > 0) AND
22 (RawMin <> RawMax)
23 THEN
24 //Scaling sensor input to 0-100% range
25 Sensor.O2Percentage := ((SensorO2RawSignal - RawMin) * (PercentageMax - PercentageMin)) / (RawMax - RawMin);
26 SensorSignalValid   := TRUE;
27 ELSE
28 SensorSignalValid   := FALSE;
29 END_IF
```

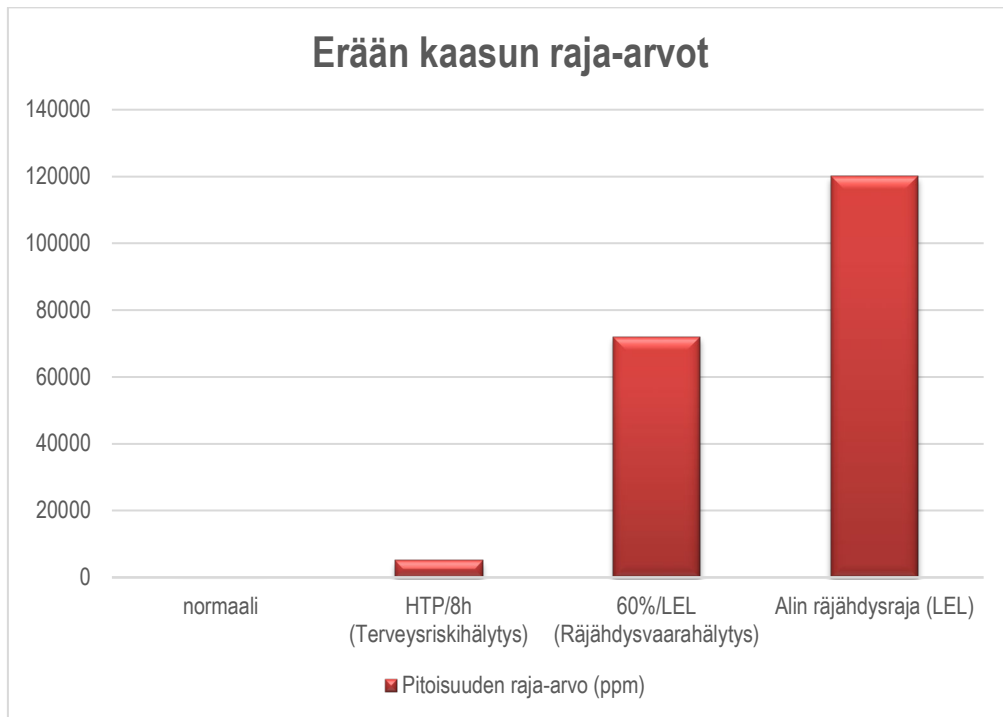
KUVA 8. Sovellusohjelman lähdekoodia signaalia prosessoivasta ohjelmalohkosta.

Signaalia valvotaan anturin virtapiirin katkeamisen sekä mittalaittevikojen varalta. Vikatila aktivoidaan, mikäli anturin lähettämä signaali katkeaa tai ylittää sille asetetun raja-arvon. Aktivoituneesta vikatilasta välitetään viesti käyttöliittymään sekä ylempiin järjestelmiin.

4.3 Raja-arvojen tarkkailu

Jokaiselle prosessissa käytössä olevalle kaasulle on asetettu raja-arvot (X%/LEL) tai (X PPM), joihin raja-arvoja tarkkaileva ohjelmalohko vertaa anturin mittaamaa kaasun pitoisuutta. Vaaratilannetta indikoiva muuttuja aktivoidaan välittömästi, mikäli kaasun pitoisuus ylittää sallitun arvon. Indikaattori pysyy aktiivisena, kunnes se kuitataan.

Kuvasta 9 ilmenee esimerkkikaasulle todettu normaali pitoisuus ilmankoostumuksessa, terveysriskin hälytysraja, räjähdysvaarahälytyksen raja, sekä alin räjähdysraja



KUVA 9. Erään kaasun raja-arvoja (6)

4.4 Hälytysten ohjaus

Järjestelmän toimiessa oikein, vihreä merkinantovalo palaa jatkuvasti sekä fyysisessä merkinantovalossa sekä käyttöliittymässä. Hälytysten ohjauslohkoon syötetään tieto jokaisesta hälytysrajan ylityksestä. Ylittyneiden rajojen perusteella määritellään hälytyksen tyyppi.

Mikäli haitalliseksi todetun pitoisuuden arvo ylittyy, varoitusvalo kytketään päälle, käyttöliittymään välitetään ilmoitus altistumisvaarasta sekä aika, jonka tilassa voi oleskella altistumatta. Räjähdysvaaran ollessa läsnä sireenit ja varoitusvalot kytketään päälle. Hälytysten kuittaaminen tapahtuu käyttöliittymästä. Vaaratilanteen täytyy olla ohi, jotta hälytys voidaan kuitata. Hälytykset ja vikailmoitukset tallennetaan muistiin ja ne ovat nähtävillä käyttöliittymän huoltosivulla.

4.5 Toimilaitteiden ohjaus

Tilan ilmanvaihdosta vastaavia poistopuhaltimia ohjataan taajuusmuuttajan välityksellä. Prosessitilan ilmanvaihdon voimakkuus asetetaan normaalien olosuhteiden vallitessa fyysisellä säätimellä.

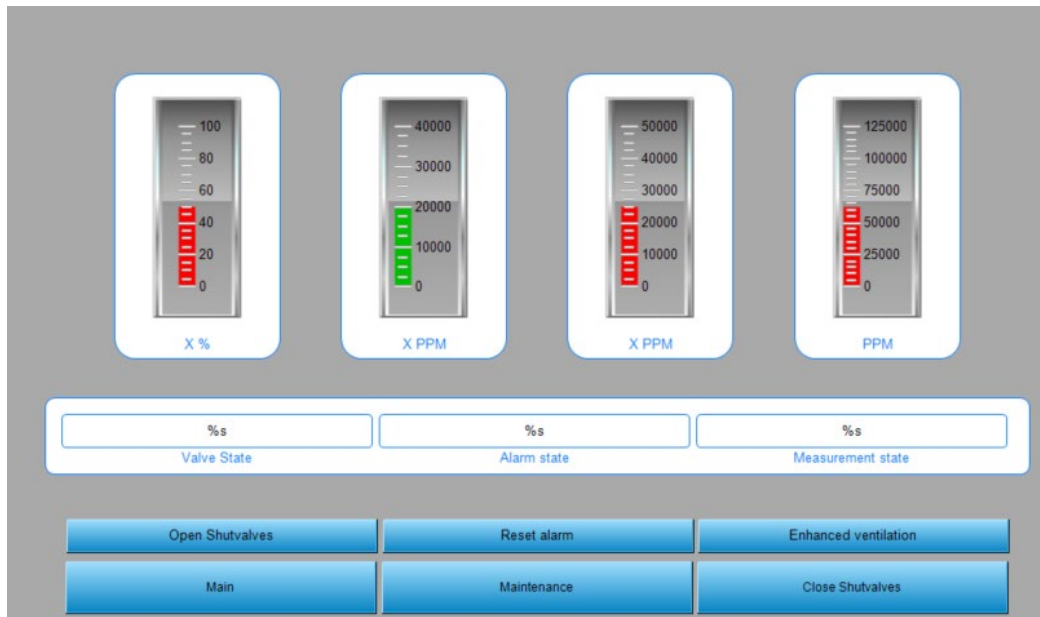
Taajuusmuuttaja saa puhaltimen nopeusohjeen PLC:n lähtöterminaalin analogiasignaalista. Taajuusmuuttajan parametreihin on tallennettu puhaltimen pyörintänopeudelle valitut ylä- ja alarajat. Puhaltimen nopeudensäätökytkimen arvoalue skaalautuu taajuusmuuttajaan ohjelmoidulle parametrialueelle. Vaaratilanteen ilmetessä sovellusohjelma pakottaa ilmanvaihto puhaltimet maksimiteholle. Kun hälytys tai vikatilanne on kuitattu, ilmanvaihto palaa fyysiseen säätimeen asetettuun arvoon.

Kaasunsyötön sulkemisesta vastaavia solenoidiventtiilejä ohjataan PLC:n lähtöterminaalin kaksitilaisella digitaalisignaalilla. Räjähdyksvaaran, happivajeen tai terveydelle vaarallisen pitoisuuden ollessa läsnä sovellusohjelma sulkee kaasunsyötön katkaisevat sulkuventtiilit automaattisesti. Kun vaaratilanne on kuitattu, venttiilit täytyy avata manuaalisesti graafisen käyttöliittymän pääsivulta.

4.6 Graafinen käyttöliittymä

Käyttöliittymä on rajapinta, jonka kautta operaattori ohjaa järjestelmää sekä vastaanottaa tietoa sen toiminnasta. Graafinen käyttöliittymä sisältää ohjauspainikkeiden lisäksi visuaalisia indikaatioita järjestelmän toiminnasta. Graafinen käyttöliittymä esitellään kuvassa 9. Käyttöliittymä luotiin Beckhoff Automationin TwinCAT 3 Integrated visualization -työkalua käyttäen.

Käyttöliittymäkehityksessä pyrittiin maksimoimaan selkeys ja yksinkertaisuus, jotta laitteen operointi olisi mahdollisimman helppoa ja tehokasta. Toiminnot jaoteltiin päänäkymään ja huoltonäkymään.



KUVA 10. Käyttöliittymä

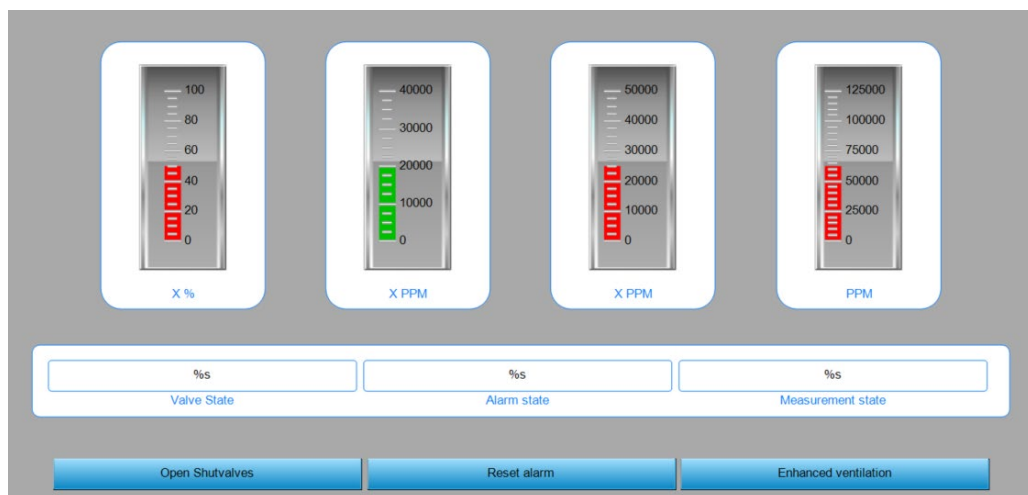
Kuvassa 10 esitellyn käyttöliittymän alareunassa sijaitsevat navigointinäppäimet, joiden avulla siirrytään käyttöliittymän sivujen välillä. Alapalkin oikeassa reunassa sijaitsevalla pikanäppäimellä voidaan myös sulkea sulkuventtiilit. Kuvassa 11 esiteltävät alapalkin näppäimet ovat jatkuvasti näkyvissä.



KUVA 11. Navigointi- ja pikanäppäimet

4.6.1 Päänäkymä

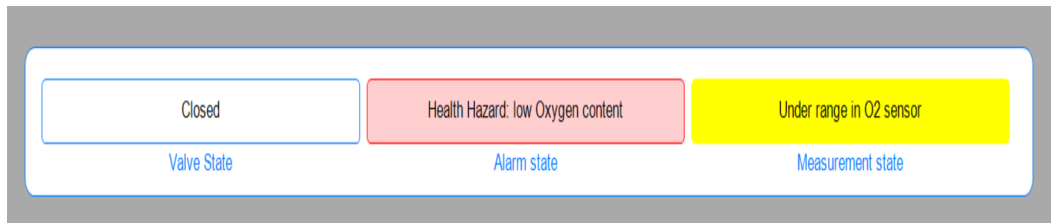
Päänäkymä kommunikoi käyttäjälle käytön aikana tarvittavat tiedot sekä mahdollistaa tärkeimpien toimintojen ohjauksen. Kuvassa 12 esitetään päänäkymä ja sen mitta-asteikot, joista ilmenee kohdekaasujen pitoisuudet reaaliajassa. Kaasupitoisuudet ilmoitetaan joko PPM-lukuna tai tilavuusprosenttina. Kuvaajan palkin väri on vaarattomassa tilassa vihreä. Raja-arvon ylittyessä kuvaajan palkki muuttuu punaiseksi.



KUVA 12. Päänäkymä

Mitta-asteikkojen alapuolella tilatietorivillä kommunikoidaan järjestelmän kriittiset tiedot kuten, sulkuventtiilien tila, hälytystila ja kaasunmittauksen tila. Valve state-tilatieto ilmentää senhetkistä venttiilien asentoa ja sen arvoja ovat Closed eli kiinni ja Open eli auki. Alarm state-tilatieto ilmoittaa, mikäli yksi tai useampi kaasupitoisuuden raja-arvo on ylittynyt ja hälytystila on siitä syystä aktiivinen.

Hälytystilan ollessa aktiivinen Alarm state -rivi vilkkuu punaisena. Measurement state -rivi ilmentää kaasunmittauslaitteiston tilaa. Mikäli anturin signaalissa on virhe tai se katkeaa, tämä rivi ilmoittaa viasta ja sen sijainnista. Vikatilan ollessa aktiivinen rivi vilkkuu keltaisena, ilmanvaihto toimii tehostetusti ja valomasto sekä summeri kytkeytyvät päälle. Kuva 13 havainnollistaa tilatietorivin toimintaa.



KUVA 13. Tilatietorivi

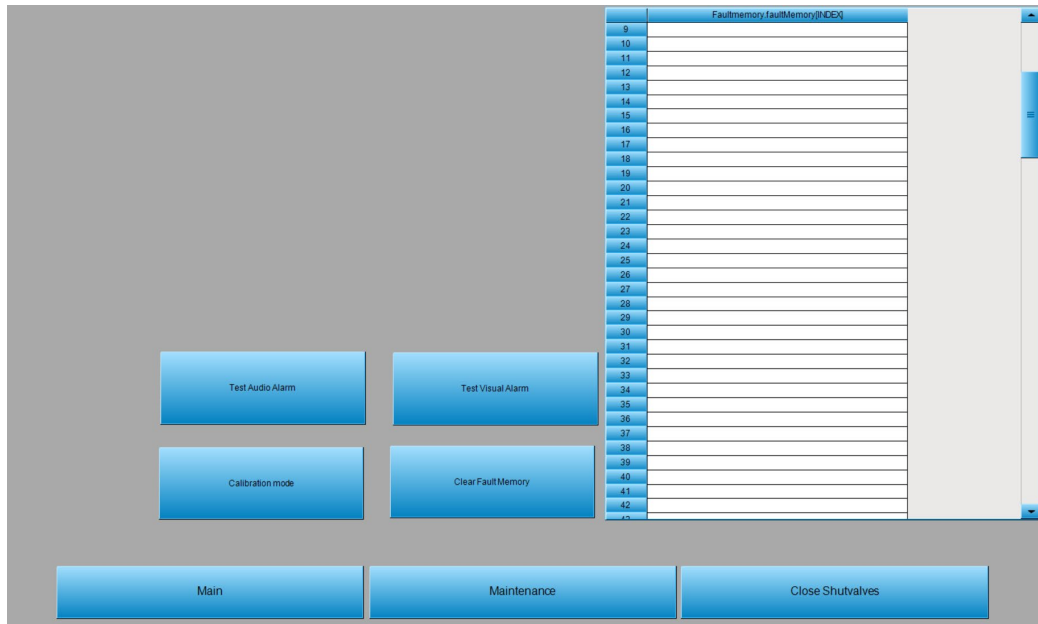
Päänäkymän alapalkista ohjataan tärkeimpiä toimintoja kuten vaara- ja vikatilanteiden kuitauksia, kaasunsyötön sulkuventtiilien avaamista ja ilmanvaihdon tehostamista. Alapalkin näppäimet esitellään kuvassa 14.



KUVA 14. Päänäkymän alapalkki

4.6.2 Huoltonäkymä

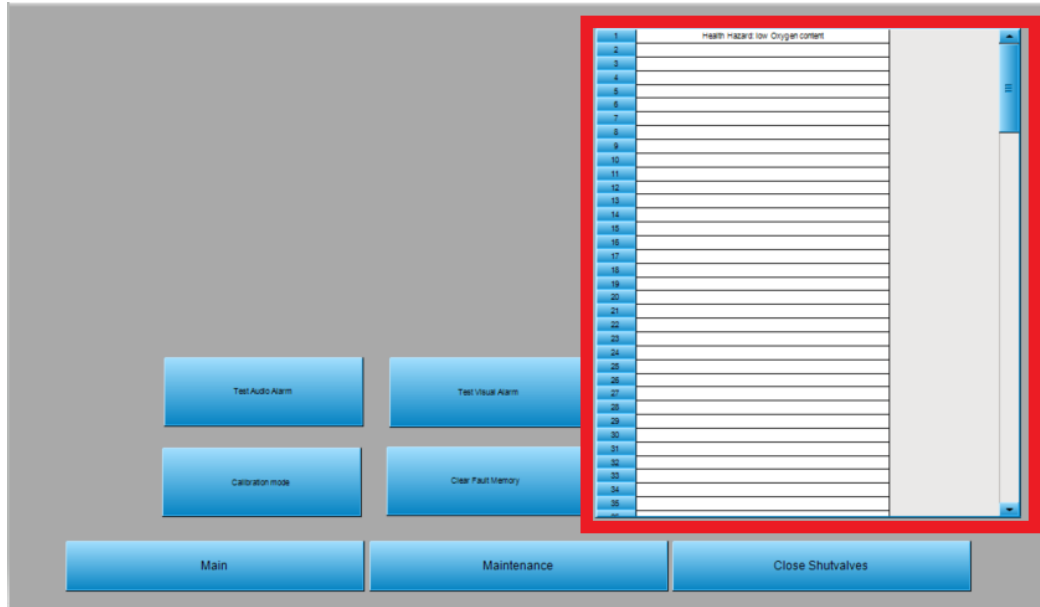
Käyttöliittymän huoltonäkymään sijoitettiin toiminnot, joita tarvitaan vain poikkeustilanteissa. Huoltonäkymä esitellään kuvassa 15. Poikkeustilanteita ovat esimerkiksi laitteiston huolto- ja kalibroitamistapahtumat sekä hälytysten testaaminen. Huoltonäkymästä voidaan tarkkailla järjestelmän toiminnan kannalta kriittisiä ilmoituksia ja niiden historiaa.



KUVA 15. Huoltonäkymä.

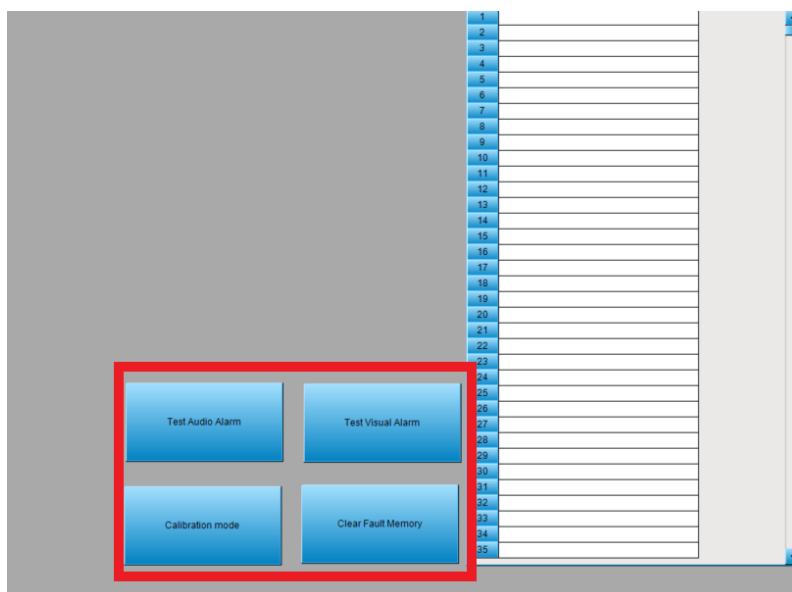
Järjestelmään luotiin vikamuisti, jotta vikatilanteiden selvittäminen helpottuisi. Vikamuistin laajuus on 100 viimeisintä virheilmoitusta. Vikamuistin saavuttaessa 100 virheilmoitusta, listan vanhin vikailmoitus pyyhkiytyy listalta.

Vikamuistiin tallennettavia asioita ovat havaitut mittavirheet, kaasurajan ylitykset sekä komponenteissa havaitut viat. Vikatilanteen tyyppin lisäksi kirjataan vian ilmenemisen ajan-kohta. Ilmoitukset ovat luettavissa huoltonäkymän tekstikentästä, joka esitellään korostetuna kuvassa 16.



KUVA 16. Huoltonäkymän tekstikenttä.

Käyttöliittymän huoltosivulta on mahdollista asettaa järjestelmä kalibroitilaan. Kalibrointitilassa hälytykset ohitetaan määräajaksi, jotta ne eivät laukeaisi kalibrointiprosessin aikana. Kun kalibrointi on suoritettu, hälytykset voidaan testata huoltosivulla sijaitsevista näppäimistä kuvassa 17. Myös vikamuisti voidaan pyyhkiä huoltosivun näppäimestä.



KUVA 17. Huoltonäkymän näppäimet

5 YHTEENVETO

Työn tuloksena on suunnitelma PLC-ohjatun kaasunvalvontajärjestelmän rakenteesta komponenttitasolla, lista komponenteista, joilla järjestelmä voidaan toteuttaa sekä virtuaalisesti testattu sovellusohjelma sekä käyttöliittymä, jolla järjestelmää voidaan ohjata. Edellä mainitut kokonaisuudet täyttävät asiakkaan asettamat vaatimukset järjestelmän toiminnalle. Näin ollen voidaan todeta projektin onnistuneen sille asetetuissa tavoitteissa.

Suunnittelutyötä ohjasivat asiakkaan asettamat kiinteät vaatimukset sekä toiveet järjestelmän ominaisuuksista. Asiakkaan kriteerien lisäksi kaasunvalvontaa käsitteleviä standardeja hyödyntämällä hahmottui kuva kaasunvalvontajärjestelmän tärkeimmistä ominaisuuksista.

Kun kaasunvalvontajärjestelmän keskeisimmät toiminnot oli hahmotettu, siirryttiin sovellusohjelman kehitykseen. Sovellusohjelman ydintoiminnot kuten mittauksista, raja-arvojen tarkkailusta ja hälytysten ohjauksesta vastaavat ohjelmalohkot luotiin ensimmäisenä. Tämän vaiheen jälkeen aloitettiin myös järjestelmäkomponenttien spesifointi. Laitevalinnat ja sovellusohjelman rakenne etenivät ja tarkentuivat yhdessä projektin loppuun asti. Projektin viimeisessä vaiheessa luotiin graafinen käyttöliittymä.

Jotta järjestelmä voidaan toteuttaa ja käyttöönottaa niissä olosuhteissa, joihin se on suunniteltu, täytyy suorittaa järjestelmän sähkösuunnittelu. Myös sovellusohjelman toiminnan varmistaminen vaatii testausta fyysisen laitteiston kanssa. Järjestelmän kehitystä jatketaan luomalla toimintoja kaasunmittausdatan keräämiseen sekä parantamalla käyttöliittymän sujuvuutta ja visuaalista ilmettä. Mittadatan historian perusteella voidaan kerätä tietoa järjestelmän tilasta sekä prosessiolosuhteiden vaihteluista. Projekti etenee edellä mainittujen vaiheiden mukaisesti kohti käyttöönottoa, mutta valmistumisaikataulun vuoksi ne rajattiin pois tästä opinnäytetyöstä.

Projektin neljä pääaihealuetta olivat kaasunvalvonta, räjähdysvaaralliset tilat, PLC-ohjelmointi ja laitevalinta. Näistä aiheista PLC-ohjelmointi oli ainoa, josta työn suorittajalla oli aiempaa konkreettista kokemusta. Tästä syystä projektin jokaisen vaiheen edistäminen

vaati huomattavan määrän uuden tiedon etsimistä ja sisäistämistä. Uusista aihealueista huolimatta projekti eteni tasaisesti, eikä sen aikana ilmennyt suuria ongelmakohtia.

Projekti oli kokonaisuutena erittäin mielenkiintoinen ja kehittävä sekä uusilla että ennestään tutuilla osa-alueilla. Henkilökohtaisen kehityksen kannalta merkittävimpiä osa-alueita olivat projektityön kokonaisvaltainen hahmottaminen ja aikataulutus, standardien hyödyntäminen, automaatiolaitteiden toiminnan ymmärtäminen sekä sidosryhmien kanssa toimiminen.

LÄHTEET

1. Elcoline Group.
Hakupäivä 20. 9 2024. <https://elcoline.fi/>
2. Dinesh K. Aswal, Shiv K. Gupta 2007. Science and Technology of Chemiresistor Gas Sensors. Hakupäivä 11.11.2024. New York. Nova Science Publishers.
https://www.google.fi/books/edition/Science_and_Technology_of_Chemiresistor/bMRubqYylHgC?hl=fi&gbpv=0.
3. Detector Oy. Kaasunilmaisimet.
Hakupäivä 11.11.2024. <https://detector.fi/tuote/kaasunilmaisim-dgtkex/>
4. The Royal Institution. Humphry Davy's miners' safety lamp.
Hakupäivä 20. 9. 2024. <https://www.rigb.org/explore-science/explore/collection/humphry-davys-miners-safety-lamp>.
5. Wood Library Museum of Anesthesiology. Davy-lamp.
Hakupäivä 10. 9 2024. <https://www.woodlibrarymuseum.org/museum/davy-lamp/>
6. Työterveyslaitos. Työturvallisuus. kemiallisten altisteiden raja-arvot.
Hakupäivä 20. 9. 2024. <https://www.ttl.fi/teemat/tyoturvallisuus/altistuminen-tyoympariston-haittatekijoille/kemiallisten-tekijoiden-hallinta-tyopaikalla/kemiallisten-altisteiden-raja-arvot>
7. SFS-EN 1127-1:2019. Räjähdyksvaaralliset tilat. Räjähdyksen esto ja suojaus. Osa 1: Peruskäsitteet ja menetelmät. Hakupäivä 23.9.2024 Suomi: SFS ,Suomen Standardisoimisliitto.
<https://sales.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/840071.html.stx>. Vaatii käyttöoikeuden.
8. Riken Keiki CO. LTD. Sensor principles.
Hakupäivä 20. 9 2024. <https://product.rikenkeiki.co.jp/english/contents/sensor/>

9. Sagarika Panda, Savita Mehlawat, Neeraj Dhariwal, Ashwani Kumar, Amit Sanger 2024. Com-prehensive review on gas sensors: Unveiling recent developments and addressing challenges, Materials Science and Engineering: B, Volume 308. Intia. Hakupäivä 11.11.2024. Elsevier <https://doi.org/10.1016/j.mseb.2024.117616>. Vaatii käyttöoikeuden.
10. IEC 60079-29-3:2014. Explosive atmospheres - Part 29-3: Gas detectors - Guidance on functional safety of fixed gas detection systems, Hakupäivä 29. 9 2024. <https://webstore.iec.ch/en/publication/645>. Vaatii käyttöoikeuden.
11. Mohammed Muzibut Rahman, Abdullah Mohamed Asiri 2017. Electrochemical Sensors Technology. Hakupäivä: 11.11.2024. Lontoo. Intech. DOI: 10.5772/intechopen.68709.
12. Michael J McGrath, Clíodhna Ni Scanail 2013. Sensor Technologies: Healthcare, Wellness and Environmental Applications. Apress open. <https://doi.org/10.1007/978-1-4302-6014-1>
13. Ramon Pallas-Areny, John G. Webster 1999. Analog signal processing. New York. Hakupäivä 11.11.2024. A Wiley-Interscience Publication. https://www.google.fi/books/edition/Analog_Signal_Processing/JpVk-x-UGroC?hl=fi&qbpv=0
14. Scott Gunner 2023. Examples of Analog Signals in Control Systems. Control automation. Hakupäivä 25. 9 2024 <https://control.com/technical-articles/examples-of-analog-signals-in-control-systems/>
15. Pease Robert A 2008. Analog circuits, world class desings. Hakupäivä 25.11.2024. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-8627-3.X0001-5>

16. Chanchal Dey, Sunit Kumar Sen 2020. Industrial automation technologies. Hakupäivä 25.11.2024. New York. CRC Press. <https://ebookcentral-proquest-com.ezp.oamk.fi:2047/lib/oamk-ebooks/detail.action?docID=6212513>

17. Mithil Kadam 2021. Programmable logic controller block diagram. Hakupäivä 7.11.2024 https://commons.wikimedia.org/wiki/File:PLC_Block_Diagram.jpg?uselang=fi