



SAVONIA

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

SIIRRETTÄVÄN BIOJALOSTAMON PROSESSI JA SÄHKÖISTYS

TEKIJÄ: Toni-Petri Hirvonen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Sähkötekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä Toni-Petri Hirvonen	
Työn nimi Siirrettävän biojalostamon prosessi ja sähköistys	
Päiväys	18.2.2015
Sivumäärä/Liitteet	77/20
Ohjaaja(t) Lehtori Jari Ijäs ja lehtori Heikki Laininen	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) ABOWE-projekti/Savonia-ammattikorkeakoulu	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Yhä kiristynyt orgaanisen jätteenkäsittelyn lainsäädäntö on lisännyt vaihtoehtoisten käsittelytapojen kysyntää. Euroopan Unionin Itämeren alueen -ohjelma oli päärahoittajana jätteenkäsittelyn innovaatioita toteuttavassa ABOWE-projektissa. Projektin tarkoituksena oli rakentaa kaksi siirrettävää pilottilaitosta kontteihin ja pilotoida valittuja bioprosesseja orgaanisten sekä biohajoavien jätteiden hyötykäytössä. Projektin pääyhteistyökumppani Savonia-ammattikorkeakoulu rakensi Finnoflag Oy:n yleissuunnitelman pohjalta Suomessa uudenlaisen biojalostamon, kiihdytettyyn bakteerien aineenvaihduntaan perustuvan upstream-bioprosessin. Prosessin tuloksena 2,3-butanolikäymisen avulla voidaan tuottaa butanolia, etanolia, asetonia ja vetyä. Lopullisia tuotteita ovat mm. polttoaineet, teolliset kuidut, muovien raaka-aineet, maanparannusaineet, kosmetiikan sekä lääkeaineteollisuuden raaka-aineet. Toinen pilottilaitos, joka perustui kuivamädätysteknologiaan, rakennettiin Saksassa Ostfalia-ammattikorkeakoulun toimesta.</p> <p>Opinnäytetyön toimeksiantaja oli ABOWE-projekti. Työn tavoitteena oli tehdä prosessille PI-kaavio ja sähköistää pilotti. Työssä on esitelty bioprosessia, biotekniikka ja automaattioratkaisua, koska prosessin ymmärtäminen on olennaista PI-kaavion suunnittelussa ja piirtämisessä. Sähköistys sisälsi sähkösuunnittelun, jakokeskuksen rakentamisen ja sähköasennuksien valvomisen. Työn pääpaino sähköistyksen osalta oli jakokeskuksen suunnittelussa ja keskuksen rakennusvaiheissa. Sähköasennukset ja laitoksen käyttöönottotarkastukset rajattiin työstä pois.</p> <p>Työn tuloksena kontti sähköistettiin ja biojalostamolle tuotettiin sähkötekniinen dokumentaatio sekä PI-kaavio. Dokumentit piirrettiin CADS-suunnitteluohjelmistolla. Biojalostamopilotti valmistui tammikuussa 2014.</p>	
Avainsanat ABOWE, bioprosessi, sähköistys, jakokeskus, PI-kaavio	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Electrical Engineering			
Author(s) Toni-Petri Hirvonen			
Title of Thesis Process and Electrification of Mobile Biorefinery			
Date	18 February 2015	Pages/Appendices	77/20
Supervisor(s) Mr. Jari Ijäs, Lecturer and Mr. Heikki Laininen, Lecturer			
Client Organisation /Partners ABOWE-project / Savonia University of Applied Sciences			
<p>Abstract</p> <p>Tightening legislation in waste treatment has increased demand for alternative treatment ways. The Baltic Sea Region program was the main financier of the ABOWE project the purpose of which was to implement new innovative ways in waste treatment. The ABOWE project built two mobile pilot plants in containers and piloted by these two selected bioprocesses in organic and biodegradable waste utilization. Based on Finnoflag Ltd's overall plan, the lead partner of the project, Savonia University of Applied Sciences, built in Finland the novel biorefinery, the upstream bioprocess based on accelerated bacterial metabolism. As a result of this process it is possible to produce butanol, ethanol, acetone and hydrogen by 2,3-butanediol fermentation. Final products can be fuels, synthetic fiber, raw material for plastic, soil improvement materials, cosmetics and raw materials for pharmaceutical industries. The other pilot process based on dry digestion technology was built by Ostfalia University of Applied Sciences in Germany.</p> <p>The purpose of this thesis was to produce the piping and instrumentation diagram (P&ID) and electrification of the pilot. The thesis includes the theory of bioprocess, biotechnology and also automation choices of the process. It is essential to know the process thoroughly when planning and drawing the P&ID. Electrification included a general electrical wiring design, a distribution box and supervising electrical installations. The thesis focused primarily on the planning and assembling of the distribution box. Electrical installations and the commissioning of the pilot were excluded from the thesis.</p> <p>The outcome of this thesis was electrical documentation, P&ID. The building of the mobile biorefinery was completed in January 2014.</p>			
<p>Keywords ABOWE, bioprocess, electrification, distribution box, P&ID</p>			

ESIPUHE

Haluan kiittää kärsivällisyydestä avovaimoani ja opinnäytetyön ohjauksesta lehtori Jari Ijästä. ABOWE-projekti oli kokonaisuudessaan varsin mielenkiintoinen ja antoi minulle monipuolisen työkokemuksen. Kiitokset tuesta ovat paikallaan myös projektin aikaiselle esimiehelleni diplomi-insinööri Risto Rissaselle sekä automaatioasentajaharjoittelijoille Henri Hiltuselle, Henri Huttuselle ja Fabian Stolle-Lesbaupinille.

Pilottilaitoksen yksityiskohtainen suunnittelutieto on poistettu toimeksiantajan pyynnöstä.

Kuopiossa 19.2.2015

Toni-Petri Hirvonen

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	7
2	BIOPROSESSITEKNIikka	8
2.1	Bioreaktori.....	8
2.2	Nesteen virtaus ja sekoitus	8
2.3	Ilmastus	10
2.4	Lämmönsiirto.....	11
2.5	Haihdunnan hallinta	12
2.6	Bioprosessin vaiheet.....	12
2.6.1	Esikäsittely	12
2.6.2	Tuotantovaihe.....	13
2.6.3	Jälkikäsittely	14
3	PILOT PLANT A	15
3.1	PI-kaavio.....	15
3.1.1	Tunnukset	15
3.1.2	Instrumentointi	16
3.2	Prosessi.....	17
3.3	Mittaukset	17
3.3.1	Pinnanmittaus.....	17
3.3.2	Lämpötilanmittaus.....	17
3.3.3	Kaasun virtausmittaus	17
3.3.4	Kemialliset mittaukset.....	18
4	SÄHKÖISTYs.....	19
4.1	Liittyminen verkkoon	19
4.2	Lämmityssuunnittelu	20
4.3	Valaistussuunnittelu	20
5	SÄHKÖKESKUS.....	21
5.1	Sähköiset ominaisuudet.....	21
5.2	Vikavirtasuojaja (VVS).....	22
5.3	Keskustyyppi	22
5.4	Kalustaminen.....	23
5.5	Sisäinen johdotus.....	23

5.6	Läpiviennit.....	24
5.7	Suora moottorilähtö	25
5.7.1	Lämpörele	26
5.7.2	Johdonsuojakatkaisija.....	26
5.7.3	Kontaktori.....	27
5.7.4	Apurele	28
5.8	Säädetty moottorilähtö.....	28
5.8.1	EMC-yhteensopivuus	28
5.8.2	Taajuusmuuttajan mitoitus	29
6	AUTOMAATIO	30
6.1	PLC.....	30
6.1.1	Labview.....	30
6.1.2	Valvomo	31
6.2	Profibus DP	31
6.3	Kenttäväylä pilotissa	32
7	POHDINTA.....	33
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT	34

POISTETTU TILAAJAN PYYNNÖSTÄ

1 JOHDANTO

Euroopan Unionin Itämeren alueen -ohjelman tarkoituksena on edistää ja tukea alueellista kehitystä Itämeren koskettavien yhdentoista maan yhteistyön avulla. Ohjelma käynnistyi vuonna 2007 ja sen oli määrä kestää vuoteen 2014 asti. Rahoituksen saivat yhteensä 90 hanketta, jotka koskivat vettä, energiaa, innovaatioita ja liikennettä. Innovaatio osa-alueen REMOWE (Regional Mobilizing of Sustainable Waste-to-Energy Production, 12/2009 – 12/2012) -hankkeen tarkoituksena oli etsiä uusia mahdollisuuksia sekä ideoita orgaanisten ja biohajoavien jätteiden hyötykäytössä. REMOWEssa parhaiten menestyivät suomalainen Finnoflag Oy:n biolaitoskonsepti ja saksalainen kuivamädätysteknologia. Molemmat teknologiat saivat jatkovaiheen ABOWE (Implementing Advanced Concepts of Biological Utilization of Waste, 12/2012-12/2014) -hankkeena. ABOWE:n pääyhteistyökumppani Savonia-ammattikorkeakoulu vastasi hankkeen vetämisestä, hallinnoinnista, koordinoinnista, tiedottamisesta sekä pilotti A:n rakentamisesta ja testauksesta. Toinen pilotti (B) rakennettiin Saksassa Ostfalia-ammattikorkeakoulun toimesta. EU:n Itämeren alueen -ohjelman lisäksi pilotti A:n investointia ja koko suomalaista hankeosuutta tukivat työ- ja elinkeinoministeriö ja Pohjois-Savon maakuntarahasto. Siirrettäviä pilottilaitoksia testattiin viidessä eri maassa. (Baltic Sea Region Programme 2013.)

ABOWE-hankkeen partnerit ja yhteistyökumppanit olivat:

- Ostfalia University of Applied Sciences, Saksa
- Marshal Office of Lower Silesia, Puola
- Klaipeda University, Liettua
- Mälardalen University, Ruotsi
- Estonian Regional and Local Development Agency (ERKAS), Viro
- Itä-Suomen yliopisto, Suomi
- Finnoflag Oy, Suomi.

Pilottien koeajokohteet olivat:

- Savon Sellu Oy, Suomi, Pilotti A
- ZGO Gac Ltd, Puola, Pilotti A
- Vafab Miljö AB, Ruotsi, Pilotti A
- OU Kaarli maatila, Viro, Pilotti B
- Rima Dauksienen maatila, Liettua, Pilotti B
- Hagby Gårdsfågel AB, Ruotsi, Pilotti B.

Opinnäytetyön toimeksiantaja on ABOWE-projekti. Työn tavoitteena on tuottaa pilottilaitos A:lle PI-kaavio sekä sähköistää siirrettävä biojalostamo. PI-kaavion piirtäminen ja suunnittelu edellyttävät bioprosessien tuntemusta. Työssä käsitellään biotekniikkaa ja sen vaikutusta prosessiin sekä automaattioratkaisua. Sähköistys sisälsi sähkö- ja jakokeskus suunnittelun sekä rakentamisen. Projektin aikana työskentelin myös sähkö- ja automaatioasennusten työnjohtotehtävissä. Asentajina työskentelivät Savon ammatti- ja aikuisopiston viimeisen vuoden kaksi automaatio-opiskelijaa ja saksalainen vaihto-opiskelija. Sähköasennukset ja laitoksen käyttöönottotarkastukset on rajattu työstä pois.

2 BIOPROSESSITEKNIikka

Perinteisten bioprosessien avulla tuotetaan uusia tuotteita hyödyntäen mikrobiologiaa, eläin ja kasvikunnan soluja sekä entsyymien komponentteja. Bioprosesseilla on kehitetty valtava määrä kaupallisia tuotteita, kuten teollinen alkoholi, orgaaniset liuottimet, terapeutitset proteiinit, antibiootteja ja rokotteita. Teolliset prosessit käyttävät entsyymejä panimoissa, leipomoissa, makeisten valmistuksessa, mehujen selkeyttämisessä ja antibioottien muunnoksissa. Kaupallisesti suuria määriä entsyymejä käytetään muuntamaan tärkkelystä fermentoituviksi sokereiksi. Entsyymit toimivat myös katalyyttinä muille bioprosesseille. Uusien tuotteiden ja prosessien tuominen laboratorioista teollisuuden toteutettaviksi edellyttää laajaa tekniikan taitoa ja tietämystä. Bioprosessien biotekniikassa yhdistyvät biokemia, kemian tekniikka ja prosessitekniikka. (Doran 1995, 3.)

Ympäristöbioteknologiaa hyödynnetään valmistusprosesseissa, jätteiden hävittämisessä ja saasteiden hallinnassa. Kaupalliset toiminnot tuottavat jätettä eri muodoissa ja osa tuotetuista tuotteista on biohajoavaa. Hävityskustannuksien kohotessa tasaisesti ympäri maailmaa kohoavat myös lopputuotteiden yleiskustannukset. Bioteknologian avulla muunnetaan halpa orgaaninen raaka-aine, kuten jäte, hyödylliseksi. Biologisen jätteenkäsittelyn tavoitteena on arvokkaiden mineraalien kierrätys uudelleen käyttöön, kehittää hyödyllinen lopputuote sekä vähentää jätteen epäsuotuisaa vaikutusta luonnolle ja ihmisten terveydelle. (Evans 2003, 3 - 4.)

2.1 Bioreaktori

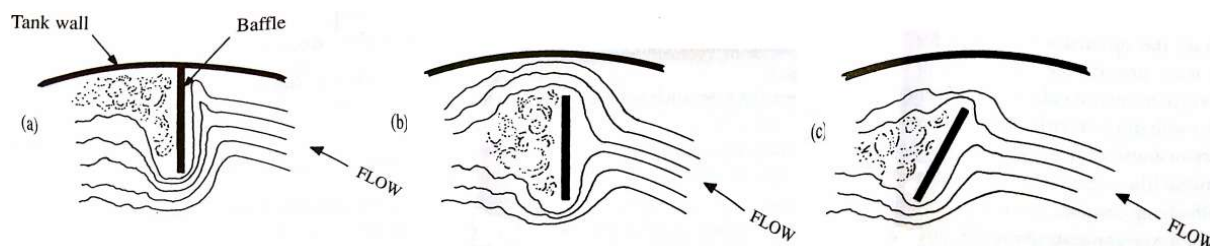
Bioprosessin tärkein komponentti on bioreaktori, jota kutsutaan myös fermentoriksi (mikrobisolujen kasvatusreaktori). Bioreaktio tapahtuu reaktorin liemessä solujen avulla ja solujen hapentarve jakaa prosessin anaerobiseksi tai aerobiseksi. Bioreaktorien rakennusmateriaalin on kestettävä jatkuvaa altistumista hapelle ja emäkselle sekä usein toistuvia puhdistussyklejä steriloinnin aikana. Liemen kanssa kosketuksissa olevien materiaalin tulisi olla reaktanssisia ja imeytymättömiä. Rakennusmateriaalina tulisi välttää kuparia, koska se on myrkyllistä soluille. Lasia käytetään rakennusmateriaalina noin 30 l pöytämallisiin reaktoreihin asti. Lasin etuna on sileä pinta, myrkyttömyys, syöpymättömyys ja läpinäkyvät seinämät. Isot reaktorit rakennetaan yleensä ruostumattomasta teräksestä. Halvempaa terästä voidaan käyttää muihin pintoihin kuin sisäpintaan, kuten vaippaan. Reaktorin sisäpinta käsitellään mieluiten elektrolyysikiillotuksella mekaanisen kiillotuksen sijaan ja hitsisaumat taimitetaan. Elektrolyysikiillotus täyttää pienet urat ja loiventaa kohoumia, joten lika ja mikro-organismit eivät jää säiliöön. Reaktorin puhdistus ja sterilointi on helpompaa peilikiiltävältä pinnalta. (Doran 1995, 343; Aittomäki ym. 2002, 16.)

2.2 Nesteiden virtaus ja sekoitus

Neste on aine, joka kokee jatkuvaa muodonmuutosta altistuessaan leikkausvoimille. Nesteet luokitellaan viskositeetin ja tiheyden perusteelta. Viskositeetti tarkoittaa kykyä vastustaa sisäistä kitkaa virtauksen aikana. Neste voi olla myös kaasun muodossa, jolloin sen koostumus muuttuu paineen alla eli se on kokoon puristettavissa. Virtauksen olemus pumpuissa, putkistoissa ja reaktorissa riippuu

nesteen liikuttamiseen käytetystä tehosta ja nesteen viskositeetista. Virtaviivat kuvaavat nesteen liikettä, jatkuva nopeus esitetään yhtenäisin välein rinnakkaisilla viivoilla ja viivat kulkevat virran suuntaan. Nesteen kohdatessa kiinteän kohteen sen nopeus muuttuu. Hidastunutta virtausnopeutta kuvataan tiiviillä viivojen välimatkalla. Virtaviivat osoittavat vain lopullisen vaikutuksen nesteen liikumiseen, nesteen molekyylit liikkuvat oikeasti epäsäännöllisesti. (Doran 1995, 129 - 130.)

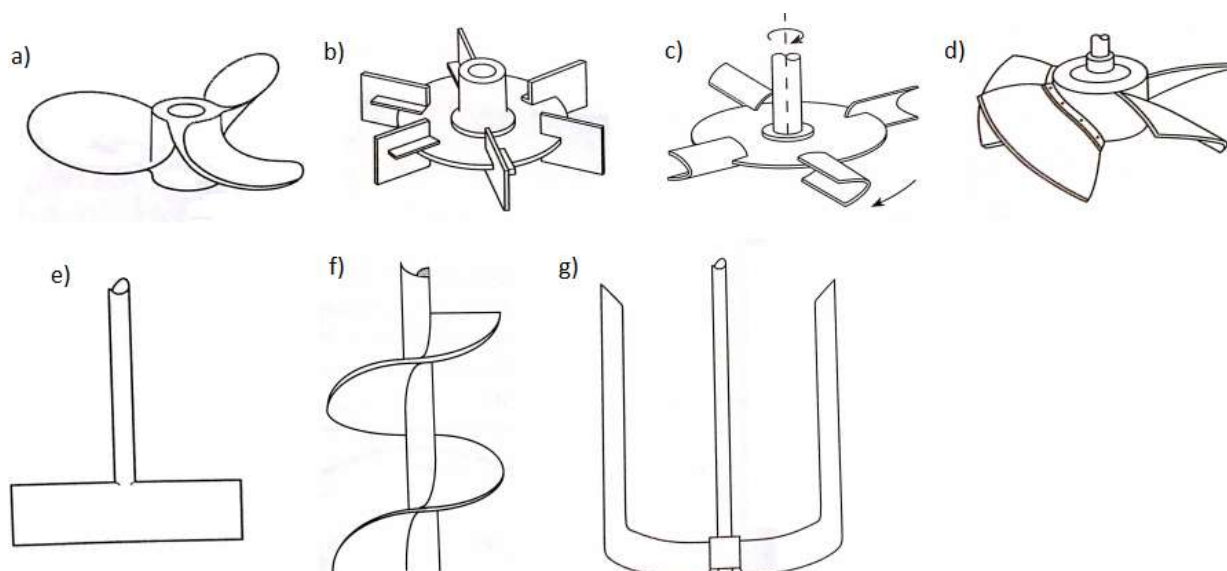
Virtausmalli sekoitetussa säiliössä riippuu sekoittimen tyypistä, nesteen ominaisuuksista, haitoista, sekoituksen nopeudesta sekä säiliön koosta ja geometrisista ominaisuuksista. Yksinkertainen sekoittimen aikaansaama pyörrevirtaus on usein epäedullinen reaktorin liemelle. Pyörrevirtauksessa neste liikkuu virran mukaisesti ja nesteessä tapahtuu vain vähän sekoittumista korkeussuunnassa. Nopeilla kierroksilla pyörre voi yltyä sekoittimeen asti, jolloin reaktorin ilmakehän kaasut sekoittuvat nesteeseen. Edellä mainitussa tilanteessa akseliin, laakereihin ja tiivisteisiin kohdistuu suurta mekaanista kuormitusta. Pyörrevirtauksen syntymistä voidaan ehkäistä asentamalla säiliön seinämille haitat, jotka luovat turbulenssia nesteeseen. Haittojen optimaalinen asennuskulma riippuu nesteen viskositeetista (kuva 1). (Doran 1995, 141 - 143.)



KUVA 1. Haittojen kulma viskositeetin ollessa matala (a), keskinkertainen (b) ja suuri (c) (Doran 1995, 141 - 143.)

Sekoitus määritellään tehokkaaksi, kun neste kiertää koko säiliön alueen järkevässä ajassa. Nesteen lähtönopeus sekoittimesta tulee olla riittävän suuri, jotta se riittää siirtämään nestettä myös säiliön reunamien kaukaisimmassakin osissa. Ilman pyörteistä virtausta sekoitus on usein riittämätöntä. Sekoitusta voidaan kuvailla seuraavien kolmen fyysisen prosessin avulla: jakelu, hajotus ja levitys. (Doran 1995, 144.)

Mekaanisessa sekoituksessa sekoitin kiinnitetään reaktorin keskellä sijaitsevaan akseliin, jota pyörittää ulkoinen moottori kannen tai pohjan läpi. Säiliön pohjan lävistävä akseli voi aiheuttaa vuotoja, jos tiiviste akselin ja pohjan välillä ei ole riittävä. Sekoittimen valinta riippuu prosessoitavan aineen viskositeetista ja herkkyydestä leikkausvoimille. Yleisimpiä sekoitintyyppisiä ovat potkuri, levysekoitin, ankkuri, lapa, akselillinen ruuvi ja koveranmuotoinen sekoitin (kuva 2). (Aittomäki ym. 2002, 162.)



KUVA 2. Sekoitintyyppit (Aittomäki ym. 2002, 162; Doran 1995, 141.)

2.3 Ilmastus

Kasvatuslientä voidaan ilmastaa erityyppisillä kaasuilla tai paineilmalla. Paineilmaa käytetään aerobisessa prosessissa, jossa liemeen liuennut happi toimii solun aineenvaihdunnan seurauksena vapautuneiden elektronien viimeisenä vastaanottajana. Ilmastuksen avulla liemestä poistuu korkeina pituisuuksina myös joillekin soluille haitallinen solujen tuottama hiilidioksidi. Aerobiset solut kuluttavat nopeasti paljon happea, joten ilmastus on usein jatkuvatoimista kasvatuksen ajan. Tarvittaessa paineilmaa rikastetaan puhtaalla hapella liukoisuuden parantamiseksi. Kaasuja käytetään kiihdyttämään kasvua tai ruokkimaan soluja etenkin anaerobisessa prosessissa. Sopivia kaasuja ovat mm. typpi, happi, hiilidioksidi, helium ja synteettinen ilma. (Aittomäki ym. 2002, 151.)

Ilmastus bioreaktoriin toteutetaan renkaan, sinnterin tai levyn avulla. Kuplittajassa on aukkoja tai suuttimia tai se on rakennettu huokoisesta materiaalista. Huokoisen materiaalin kuplittajat ovat lasia tai keramiikka, mutta niiden läpäisykyky on kuitenkin rajallinen virtauksen aiheuttaman suuren vastuksen takia. Huokoisen materiaalin pienet aukot voivat myös tukkeutua soluilla. Kuplitusaukkoja käytetään putkissa, jotka sijoitetaan ympyrän muotoisesti mukailemaan säiliötä tai poikkileikkauksen mukaisesti. Suuttimelliset kuplittajat tuottavat kuplavirran nesteeseen yhdestä aukinaisesta tai osittain auki olevasta putkesta. Suutinmallisen etuja ovat suuresta paineesta johtuva pieni kaasuun kohdistuva vastus ja pieni riski tukkeutumiselle. Ilmastuskomponentti sijoitetaan mahdollisen sekoittimen alle, jotta sekoittimen kohdatessaan kuplat jakautuvat koko säiliön tilavuudelle. (Doran 1995, 344.)

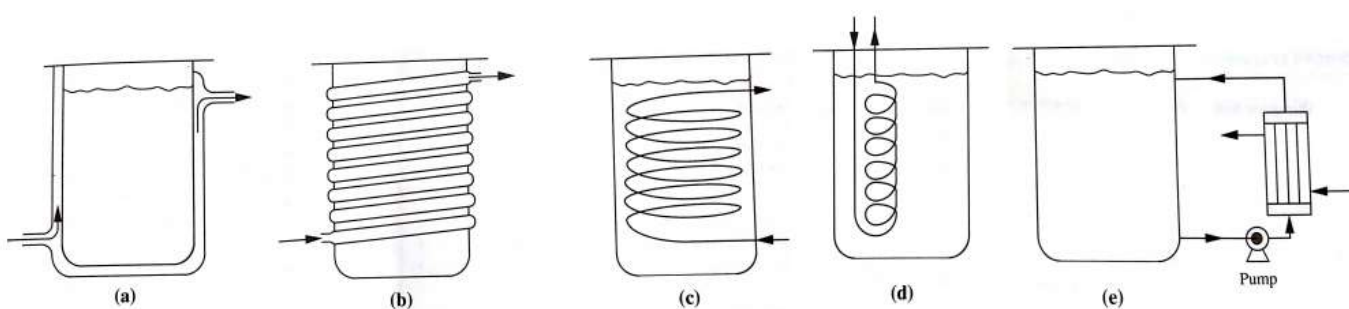
Kaasun tai hapen nesteeseen siirtymisen tehokkuus riippuu kuplien ominaisuuksista ja niiden mahdollisimman suuresta jakautumisesta. Tärkein ominaisuus on kuplien koko. Pienien kuplien etuna on se, että säiliön pinta-alasta saadaan katettua isompi osa kuin muutamalla suurella kuplalla. Pienten kuplien nousunopeus on hidasta, joten kuplat pysyvät liemessä pidempään ja mahdollistavat pitkän viipymäajan. Halkaisijaltaan alle 1 mm:n kuplia tulisi välttää, koska happipitoisuus niissä on kovin pieni ja tasaantuminen liemeen tapahtuu jo sekunneissa. Erittäin pienien kuplien massan siirtyminen

ei välttämättä riitä koko liemen tarpeeseen. Optimaaliseen kuplan kokoon vaikuttaa myös kuplitettavan aineen viskositeetti. Suuren viskositeetin omaavalle liemelle tulisi käyttää isompia kuplia, jotta kuplat pääsevät nousemaan liemessä. (Doran 1995, 202 - 203.)

Ilmastusta käytetään vaihtoehtona mekaaniselle sekoitukselle. Kuplitus vaatii vähemmän energiaa ja nesteeseen ei kohdistu sekoituksessa voimakkaita leikkausvoimia. Homogeenista virtausta ilmenee vain pienellä kaasuvirtauksella, kun kuplat lähtevät tasaisesti jaoteltuna koko säiliön poikkileikkauksen matkalta. Homogeenisessa virtauksessa kaikki kuplat nousevat samalla nopeudella ja takaisinsekoittumista ei tapahdu. Nopealla kaasuvirtauksella saadaan aikaan suurta kaoottista pyörimistä ja virtaus on heterogeenistä. Heterogeenisessä virtauksessa kuplat nousevat keskeltä ylöspäin ja laskeutuvat lähellä seinämiä. Nesteen kierto vie mukanaan kuplia, jolloin kaasuun tapahtuu jonkin verran takaisinsekoittumista. (Doran 1995, 337 - 338.)

2.4 Lämmönsiirto

Lämmönsiirron nopeus riippuu lämpötilaerosta kylmän ja lämpimän pinnan välillä sekä pinta-alasta, joka on käytettävissä lämmön vaihtumiseen. Tehokkuuteen vaikuttavat aineen ominaisuudet, ympäristön olosuhteet ja nesteen ominaisuudet. Bioprosesseissa lämmön siirtyminen on yleisintä nesteiden välillä. Tärkeää on kuitenkin siirtää lämpöä siten, etteivät nesteet ole kosketuksissa toisiinsa kontaminaatoriskin takia. Lämmönsiirtyminen on nopeampaa sekoitetussa reaktorissa ja nesteen virtauksen ollessa turbulentsia. Bioprosesseja lämmitetään ja jäädytetään steriloinnin yhteydessä sekä lämpötilan avulla olosuhteet reaktorissa pidetään mahdollisimman otollisina bakteereille. (Doran 1995, 164–165.)



KUVA 3. Vaihtoehtoja lämmönsiirtämiseen (Doran 1995, 165.)

Kuvan 3 sovelluksissa säiliön ulkopuolella olevan vaipan tai kierukan lämpöä luovuttava pinta-ala on pienempi kuin täysin nesteeseen upotetun vastaavanlaisen kierukan. Ulkoiset lämmönsiirtimet tuottavat riittävän lämmitystehon laboratorio tai pieniin säiliöihin. Ulkopuolisen lämmönsiirtotekniikan etuja ovat helppo puhdistettavuus ja se, että ristikontaminaatiota ei voi syntyä. Sisäiset kierukat soveltuvat isoihin tuotantosäiliöihin. Säiliön sisällä kierukat häiritsevät mahdollista sekoitusta, tekevät puhdistamisen vaikeaksi ja solut voivat muodostaa kalvon kierukan pinnalle. Erillisessä lämmönsiirtimessä säiliön liemi pumpataan vaihtimen kautta. Vaikka erillinen lämmönsiirrin voidaan mitoittaa tehokkaammaksi kuin muut vaihtoehdot, pumppauksessa soluihin kohdistuu haitallisia leikkausvoi-

mia eli pumppaaminen ei saa olla nopeatahtista. Aerobisessa prosessissa on otettava huomioon nesteen läpikulku aika vaihtimessa. Ajan tulisi olla lyhyt, koska kasvualustan äkillinen lämpötilan nousu kuluttaa siinä olevaa happea. (Doran 1995, 164 - 165.)

2.5 Haihdunnan hallinta

Aerobisia bakteereja sisältävää liuosta ilmastetaan jatkuvasti, jolloin useimmat ilman komponentit eivät reagoi kasvuliukseen vaan poistuvat suoraan poistokaasulinjastoa pitkin. Jos reaktoriin sisään tuleva ilma on kuivaa, kasvatusliemestä poistuu jatkuvasti nestettä höyrynä. Haihdunnan vähentämiseksi ilmaa kostutetaan ennen reaktoriin kuplittamista tai reaktori varustetaan veden liemeen palauttavalla ilmajähdytteisellä kondensoijalla. Höyrystyminen muodostuu suureksi ongelmaksi, jos solujen tuote tai kasvuliemi on haihtuvampaa kuin vesi. (Doran 1995, 344.)

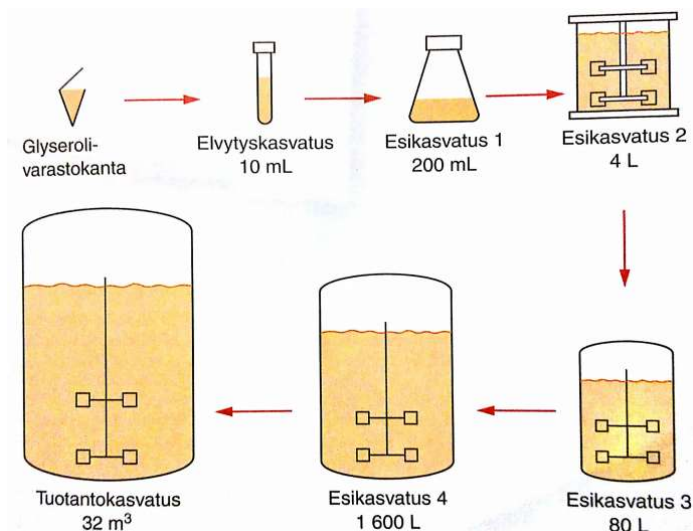
2.6 Bioprosessin vaiheet

Bioprosessi jaetaan karkeasti kolmeen vaiheeseen esikäsittelyyn, bioreaktioon ja jälkikäsittelyyn. Esikäsittelyssä ravinteet sekoitetaan, steriloidaan ja tehdään esikasvatukset. Bioreaktio on tuotantovaihe, jossa solut tuottavat lopputuotetta liemeen. Lopuksi liemi jälkikäsittellään eli tuote eristetään liemestä ja puhdistetaan.

2.6.1 Esikäsittely

Esikäsittelyssä sterilointi toteutetaan tuhoamalla solut lämmöllä, ultraäänellä, säteilyllä, kemiallisella käsittelyllä tai poistamalla solut liuksesta suodattamalla. Sterilisointi on tärkeää, koska reaktorissa voi kasvaa kerrallaan vain yksi solutyyppi. Useimmiten teollisuudessa käytetään lämpö- ja suodatussterilointi. (Aittomäki ym. 2002, 137.)

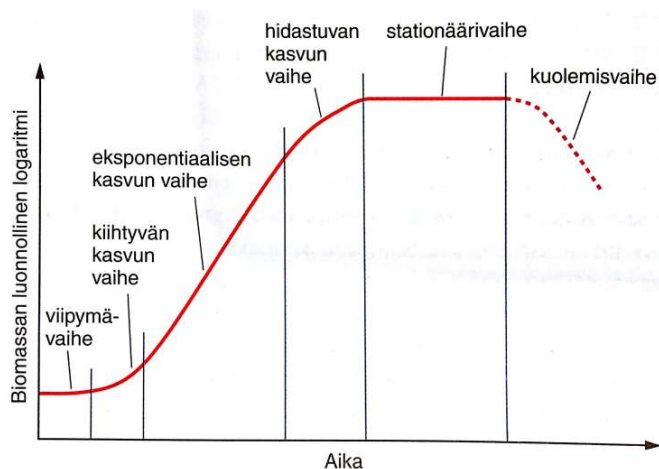
Esikäsittelyvaiheen aikana prosessissa käytettävät solut elvytetään ja esikasvatetaan. Runsasarvinteiseen kasvatusliuosta sisältävään koeputkeen siirretään syväpakasteesta sulatettu solususpensio. Bakteerisolujen elvytysvaiheen kesto on tyypillisesti 5 - 48 tuntia. Elvytysvaiheen onnistumisen edellyttää soluille optimaalisia kasvuolosuhteita. Solujen lukumäärän kasvuttua riittävän suureksi elvytetty kanta siirretään esikasvatukseen ja eteenpäin, kunnes kasvusto on riittävän iso reaktoriin siirrettäväksi (kuva 4). Siirrostussuhde on tavallisesti 1 - 10 %. Kasvu aika pitenee liian lyhyellä kasvuajalla. Siirrostus tulee ajoittaa solujen eksponentiaaliseen vaiheen loppuun, jotta varmistetaan solujen aktiivisuus sekä korkea solutiheys. (Aittomäki ym. 2002, 145.)



KUVA 4. Teollisen mikrobikannan elvytys ja esikasvatus (Aittomäki ym. 2002, 147.)

2.6.2 Tuotantovaihe

Panosprosessin kasvatuksen alussa kaikki raaka-aineet lisätään reaktoriin. Prosessi etenee suljettuna järjestelmänä siihen asti, kunnes tuotteen muodostumiseen liemeen hidastuu tai loppuu (kuva 5). Kasvamisen edistämiseksi reaktoriin lisätään tarvittaessa kaasuja ja ohjataan happamuutta. Tarvittaessa lisätään vaahtoamisen estoainetta reaktoriin. (Aittomäki ym. 2002, 126.)



KUVA 5. Solujen kasvaminen panosprosessissa (Aittomäki ym. 2002, 126.)

Panosprosessin viipymävaiheessa kasvatusliuokseen siirrostetut solut sopeutuvat kasvu-ympäristönsä ja ne eivät juurikaan kasva. Vaiheen kesto riippuu kasvu-ympäristön poikkeavuudesta edelliseen ympäristöön, solujen elävyydestä, happamuuden muutoksista ja kasvuinhibiittoreista. Yleensä bakteerikasvatuksessa viipymäaika on minuutteja. Entsyymien syntetisoinnin jälkeen solut aloittavat kasvun ja jakautumisen; vaihetta kutsutaan kiihtyvän kasvun vaiheeksi. Kaikki solut eivät välttämättä ole yhtä aikaa valmiita jakautumaan, joten kasvunopeus kiihtyy hitaasti. Kaikkien solujen jakaantuessa ja kasvaessa kasvu kiihtyy eksponentiaaliseen vaiheeseen. Runsaasti ravinteita sisältävässä kasvatusliuoksessa bakteerisolujen lukumäärä tuplaantuu 42–83 minuutin jaksoissa. Kasvatus-

liuksen ravinteiden loppuessa käynnistyy hidastuvan kasvun vaihe. Kasvu pysähtyy lopulta stati-onäärivaiheeseen, jolloin solut menettävät elinkykynsä ja hajoavat. Solujen hajotessa vapautuu ravintoaineita, joita vielä elossa olevat solut käyttävät kasvaakseen. (Aittomäki ym. 2002, 125 - 127.)

Panossyöttöprosessi koostuu panos- ja syöttövaiheesta. Panosvaihe kestää eksponentiaalisen vaiheen loppuun asti ja tämän jälkeen raaka-ainetta lisätään reaktoriin pulsseittain tai jatkuvasti. Panossyöttöprosessissa on tärkeää tietää ravinteiden kulutusnopeudet ja syöttöliuoksen koostumus, jotta kasvu ja tuottavuus saadaan hyvälle tasolle. Solujen kasvunopeus on säädettävissä syöttönopeudella. Verrattuna panosprosessiin panossyöttöprosessin tuotantoaika on pidempi, joten tuotepitoisuudet ovat korkeammat. (Aittomäki ym. 2002, 129 - 130.)

Jatkuvatoimisessa prosessissa reaktorista otetaan ja siihen lisätään lientä samaan tahtiin tasaisella nopeudella. Tasainen nopeus on tärkeä, jotta solut eivät huuhtoudu reaktorista pois. Reaktorissa nestetilavuus pyritään pitämään vakiona pumppujen, pinnankorkeuden mittauksen tai punnituksen avulla. Ongelmana jatkuvatoimisessa prosessissa on suuri kontaminaatoriski ja lopputuotteen alhainen konsentraatio, jotka lisäävät etenkin jälkiselvittelyn kustannuksia. Jatkuvatoimisuutensa ansiosta tuottavuus on usein suurempi kuin panosprosessissa. Entsyymikatalyyttisiin prosesseihin jatkuvatoimisuus ei sovellu, koska entsyymit eivät lisäännä reaktorissa vaan vähenevät aina poistoliuoksen mukana. (Aittomäki ym. 2002, 131.)

2.6.3 Jälkikäsitteily

Jälkikäsitteily koostuu kiintoaineen erottamisesta nesteestä, konsentroidinnista, puhdistuksesta ja lopputuotteen formuloinnista. Usein jälkikäsitteilyprosessointi on kallista ja vaikeaa. Monet toimintamallit jotka ovat normaaleja laboratorioissa voivat olla kannattamattomia tai epäkäytännöllisiä teollisuudessa. Yhdistelmä-DNA:sta johdetuilla tuotteilla puhdistuskustannus voi olla jopa 80–90% koko prosessin kustannuksista.

Jälkikäsitteilyn varsinaiset menetelmät riippuvat tuotteen olemuksesta, jonka perusteelta käytetään fyysistä, kemiallista tai biologista erotusta. (Doran 1995, 6.) Solunsisäinen lopputuote vaatii ensin solujen hajottamisen mekaanisesti tai ei-mekaanisesti. Suodattamista ja sentrifugointia käytetään kiintoaineen erottamiseen liuoksesta. Konsentroidimalla (haihdutus, kalvosuodatus ja saostus) liuos saadaan mahdollisimman pieneen tilavuuteen ja se on taloudellisempaa käsitellä. Konsentraatiosta lopputuote saadaan kiteyttämällä, kalvosuodatuksella tai kromatografisesti. Suodatuksessa neste läpäisee paineen seurauksesta väliaineen ja kiinteät partikkelit jäävät painepuolelle. Suodatinmateriaalina käytetään kankaita, selluloosaa, lasivillaa ja synteettisiä kuituja. (Aittomäki ym. 2002, 183 - 185.)

Jälkikäsitteilyn viimeinen vaihe on tuotteen formulointi, joka voi tarkoittaa kuivausta, sterilointia ja homogenisointia. Formuloinnin jälkeen tuote pakataan ja markkinoidaan. (Aittomäki ym. 2002, 183.)

3 PILOT PLANT A

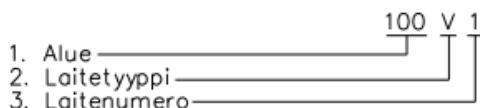
Poistettu tilaajan pyynnöstä.

3.1 PI-kaavio

Poistettu tilaajan pyynnöstä.

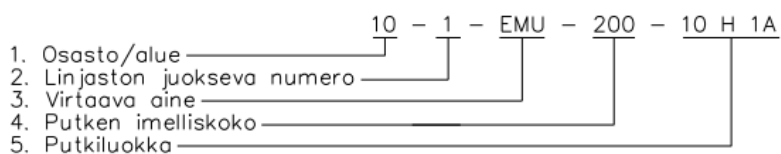
3.1.1 Tunnukset

Tunnukset annetaan piirustusten lukemisen, rakentamisen, tarkastuksen ja käytön helpottamiseksi. Pilotin PI-kaaviossa jokainen säiliö muodosti oman alueensa ja ne nimettiin kolminumeroisesti alkaen sadasta. Alueita muodostivat myös isot erilliset laitteet ja laitekokonaisuudet. Laitetunnuksien pohjana hyödynnettiin PSK 7102 standardin suositusta. Esimerkki laitetunnuksesta:



Laitetunnuksen alue määrittyi sen toiminnan liittymisen mukaisesti. Tyyppinä käytettiin laitteen englanninkielisen sanan ensimmäistä isoa kirjainta. Laitenumero oli juokseva alkaen vasemmalta tai ylhäältä alaspäin.

Putkitunnuksesta ilmenee putken numero, koko, luokka ja putkistossa virtaava aine. Esimerkki putkitunnuksesta:



Osaston tai alueen tunnus valitaan kymmenlukuista. Saman osaston sisäisistä sekä siitä lähtevistä käytetään samaa numeroa. Linjaston juoksevana numerona käytetään 1,2,3... tai 001,002,003 jne. Numero säilyy samana linjaston kulkiessa venttiiliin, suodattimen ja mittalaitteiden läpi, mikäli putken koko ei vaihdu. Numero vaihtuu linjaston päättyessä suureen laitteeseen tai kohdatessa putkihaaroituksen. Usein paine- ja imu puolella käytetään eri numeroa. Virtaavan aineen lyhenne saadaan PSK standardista 0902. Putkilinjan koko ilmoitetaan nimelliskokona, eli halkaisijaltaan 50mm putki on DN 50. Putkiluokka tarkoittaa tiedostoa putkista tai sen osista, jota käytetään putkilinjakokonaisuuksien rakentamisessa. (Pere 2004, s.276 - 277.)

3.1.2 Instrumentointi

Instrumentointien piirrosmerkkinä käytetään ympyrää. Paikallisessa ohjauksessa ympyrän sisällä on kaksi poikittaista viivaa ja valvomoinstrumenteilla viivoja on yksi. Mittauspiste määritetään kapealla viivalla, joka yhdistetään ympyrästä laitteistoon tai virtauslinjaan. Tunnuskirjaimet sijoitetaan mahdollisen viivan yläpuolelle ja ne kuvaavat mittasuuretta sekä toimintaa. Alapuolella on säätöpiirin numero tai laitetunnus. Tunnuskirjaimien selitykset on koottu taulukkoon 1. (Pere 2004, s.256 - 264.)

TAULUKKO 1. Instrumentoinnin tunnuskirjaimet (Pere 2004, 258; Sivonen 2001, 255.)

Kirjaintunnus	Merkitys ensimmäisenä kirjaimena (mittasuure)	Apumerkintä	Merkitys jäljempänä kirjaimena (toiminta)
A			Hälytys
B			Eri tilojen näyttö
C			Ohjaus
D	Tiheys	Ero	
E	Sähkösuureet		Anturitoiminta
F	Virtaama	Suhde, murtoluku	
G	Suhde, asento, pituus		Tarkastelu
H	Käsiohjaus		
I			Osoitus
J	Voima	Pyyhkäisy, jaksottainen toiminta	
K	Aika	Muutosnopeus	
L	Pinnan korkeus		
M	Kosteus	Hetkellisesti	
N	Käyttäjän valittavissa		Käyttäjän valittavissa
O	Käyttäjän valittavissa		
P	Paine, alipaine		Testauskohdan yhteys
Q	Laatu	Yhtenäinen, kokonainen	Yhdistäminen, summaaminen
R	Säteily		Rekisteröinti, tallennus
S	Nopeus, taajuus		Kytkeä
T	Lämpötila		Lähetäminen
U	Monimuuttuja		Monitoiminta
V	Käyttäjän valittavissa		Vaikuttaminen prosessiin venttiilillä, pumpuilla, jne
W	Paino, voima	Kertominen	
X	Määrittelemätön		Määrittelemätön
Y	Käyttäjän valittavissa		Muuntaminen, laskenta
Z	Tapahtumien lukumäärä, määrä		Hätä- tai turvatoiminta

Tarvittaessa instrumentoinnin ympyrän vieressä käytetään lisämääritettä täsmentämään mittausa. Yleisimpiä ovat kirjaimet H tarkoittamassa ylärajaa ja L alarajaa. Kuvassa 8 on esimerkki instrumentoinnin piirrosmerkkien käytöstä, jossa on esitetty pH:n ja liuenteen hapen mittaus. Anturit sijaitsevat reaktorin sisällä ja ovat valvomoinstrumentteja. Kyseessä on ensimmäinen ja toinen laadun mittaus.

Poistettu tilaajan pyynnöstä.

KUVA 6. Instrumentointi PI-kaaviossa

3.2 Prosessi

Poistettu tilaajan pyynnöstä.

3.3 Mittaukset

Tutkimuskäyttöön tuleva laitteisto kannattaa varustaa mahdollisimman suurella määrällä eri mittauksia, jotta prosessi on toistettavissa ja ohjattavissa. Muuttujilla, kuten lämpötila, pH, liuennut happi ja kuplituksen tahdilla on suuri merkitys entsyymireaktioon ja lopputulokseen. Ihanteellisesti mittaukset tulisi suorittaa suoraan kohteesta jatkuvatoimisesti (on-line). (Doran 1995, 345.)

3.3.1 Pinnanmittaus

Ultraääni soveltuu nesteiden ja kiinteiden aineiden mittaamiseen. Anturi lähettää matalataajuisen äänipulssin mitattavan tilan päältä ja pulssi heijastuu takaisin kohdattuaan esteen. Etäisyys esteeseen saadaan kertomalla kulku-aika signaalin nopeudella. Mittausvälillä kaikua häiritseviä tekijöitä ovat höyry, pöly ja mekaaninen sekoittaminen. Häiriöitä voidaan ehkäistä suurentamalla pulssin tehoa ja alentamalla taajuutta. (Sivonen 2001, 73.)

3.3.2 Lämpötilanmittaus

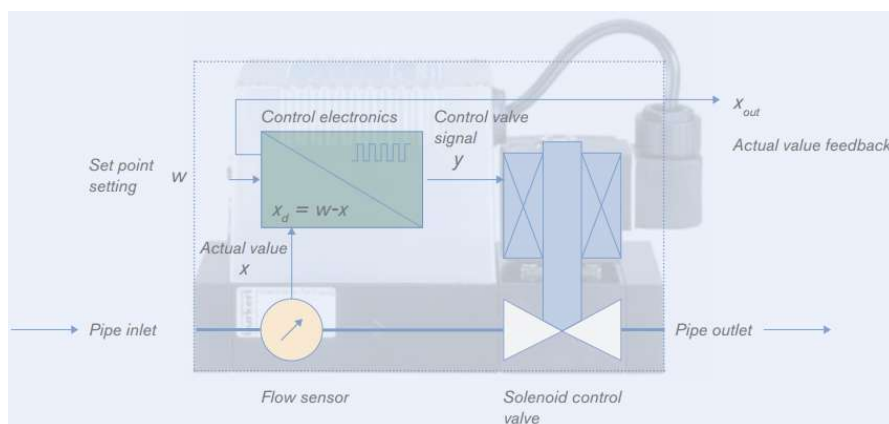
Lämpötila vaikuttaa bioprosesseissa entsyymiaktiivisuuteen, tuotavuuteen ja solujen aineenvaihduntaan. Prosessin lämpötilanmittaukset on toteutettu perinteisillä vastus-lämpötila-antureilla (RTD). Tekniikka perustuu metallisen vastuselementin vastusarvon muuttumiseen samassa suhteessa kuin lämpötilan. Vastuselementit valmistetaan metalleista tai puolijohdemateriaaleista, yleisimmin käytetään Platinaa. Platinan resistanssiarvo muuttuu riittävän lineaarisesti lämpötilan mukaan ja se kestää hyvin kemiallista rasitusta. Lanka-anturi valmistetaan kiertämällä 0,05...0,2 mm paksua platinalankaa keraamisen tai lasisen rungon ympärille. Platina voidaan myös höyryttää ohueksi kalvoksi keramiikan pintaan. Tyyppimerkiltään platinavastukset ovat Pt100, Pt250, Pt500 tai Pt1000. Pt100-anturin nimellistilavuus on $100 \Omega / 0 \text{ }^\circ\text{C}$:ssa. (Inor 2014.)

3.3.3 Kaasun virtausmittaus

Kaasun massavirta ilmaisee tietyn pinta-alan läpi virtaavan kaasun massaa tietyssä ajassa. Massavirran yksikkönä käytetään kg/h, g/s tai mol/s. Tilavuusvirtaan (l/min) verrattuna massavirta ei ole riippuvainen lämpötilan tai paineen muutoksista. Tilavuusvirtamittauksen avulla kaasun säätäminen luotettavasti olisi mahdotonta, koska kaasun lämmitessä sen tiheys pienenee ja paineen kasvaessa puolestaan tiheys suurenee. Massavirtamittari ilmoittaa mittaustuloksen yleisesti käytettynä standarditilavuusyksikkönä (SLM, standardilitra minuutissa), joka saadaan jakamalla massavirta kaasun tiheydellä standardilämpötilassa ja -paineessa. (Kuutti 2009, 6 - 8.)

Bürkertin massavirtasäätimet sisältävät termiseen mittauseriaatteeseen perustuvan anturin, ohjaus-elektroniikan ja kaasun virtauksen säätämiseen käytetyn solenoidiventtiilin (kuva 16). Anturi sijaitsee

kaasun pääkanavassa tai sivuvirrassa. Ohjauselektronikka vertaa anturilta saatua mittaustietoa massavirrasta x ohjausarvoon w ja laskee säätösuureen y venttiilille. Säätotapa on sisäänrakennettu PID-säädin. (Bürkert 2009, 9.)



KUVA 7. Massavirtasäätimen toimintaperiaate (Bürkert 2009.)

3.3.4 Kemialliset mittaukset

Poistettu tilaajan pyynnöstä.

4 SÄHKÖISTYS

Pilotin sähköistys vastasi laajuudessaan pienehköä prosessiteollisuuden laitosta. Varsin rajalliseen tilaan tuli sijoittaa lukuisia moottorikäyttöjä, kontin sähkökeskus, automaatiokeskus ja perinteinen kiinteistö sähköistys. Sähkösuunnittelun, asennuksien ja testauksen perustana käytettiin SFS-käsikirjoja 600-1 ja 600-2. Käsikirjat sisältävät 1 000 V/AC ja 1 500 V/DC pienjännitesähköasennukset, erityisasennukset, säädökset ja sähkötyöturvallisuuden.

Laitoksen koeajot eri maissa eivät vaatinut erityistä suunnittelua, koska Puolassa ja Ruotsissa on käytössä sama verkkojännite ja taajuus kuin Suomessa. Suurin osa sähkösuunnittelun dokumentaatiosta on liitteinä 2 - 19.

4.1 Liittyminen verkkoon

Tavallisesti sähköliittymä mitoitetetaan käyttöpaikan huipputehon perusteella. Suunnitteluvaiheessa pilotin tehoa oli kuitenkin hyvin vaikea tarkasti laskea jatkuvien laitemuutoksien ja prosessin keskenäisyyden takia. Koeajopaikkoina tulisivat jatkossa olemaan erityyppiset teollisuuden tuotantolaitokset, joten saatavilla voidaan olettaa olevan 32 A ja 63 A pistokkeellisia lähtöjä. Prosessin käytettävissä oleva teoreettinen huipputeho voidaan laskea kaavalla 1. Tehokertoimena käytettiin arvoa 0,96.

$$P = \sqrt{3}UI\cos\varphi \quad (1)$$

missä *U on pääjännite*
 I on huippuvirta
 cos φ on tehokerroin

$$P = \sqrt{3} * 400 \text{ V} * 63 \text{ A} * 0,96 = 42,3 \text{ kW}$$

$$P = \sqrt{3} * 400 \text{ V} * 32 \text{ A} * 0,96 = 21,5 \text{ kW}$$

Tarvittavan tehon arvioitiin olevan yli 30 kW, joten 63 A syöttö kontille olisi riittävä. Kiinteän asennuksen pistorasian ylivirtasuojan nimellisvirta saa olla enintään pistorasian nimellisvirran suuruinen, eli oletetaan 63 A voimavirtapistorasian ylikuormitussuojana käytettävän 3 x 63 A gG sulakkeita. 63 A - gG sulakekoon pienin sallittu johdon kuormitettavuus on 70 A, joten kontin syöttökaapelin on siis kestävä vähintään yhtä suuri virta. Siirrettävien laitteistojen liittäminen syöttöön tulee toteuttaa SFS 6000-7-717:2007 mukaisesti H07RN-F-kaapelilla tai vastaavalla. H07RN-F on EPR (eteenipropeenikumi) -eristeinen öljyn sekä pakkasen kestävä liitäntäkaapeli. Kyseinen kaapeli soveltuu mekaanista rasitusta aiheuttaviin keskiraskaisiin olosuhteisiin.

Käsikirjassa D1-2012 on siirrettävien kaapelien kuormitettavuudet vapaasti ilmassa (taulukko 3). Kontin syöttökaapeliksi valittiin H07RN-F 5 x 16S. Kaapelin kuormitettavuus vapaasti ilmassa on 72 A.

TAULUKKO 2. Siirrettävien kaapeleiden kuormitettavuudet, vahva EPR-eristeinen liitäntäkaapeli H07RN-F (D1-2012 2013, 222.)

Johtimen nimellinen poikkipinta mm ²	Kuormitettavuus vapaasti ilmassa (A)	
	Kolme johdinta, kaksi kuormitettua johdinta	Neljä johdinta, kolme kuormitettua johdinta
4	36	31
6	46	39
10	64	54
16	85	72
25	113	96
35	140	119
50	176	149
70	219	185
95	260	219
120	304	259
150	348	293
185	393	332

4.2 Lämmityssuunnittelu

Poistettu tilaajan pyynnöstä.

4.3 Valaistussuunnittelu

Poistettu tilaajan pyynnöstä.

5 SÄHKÖKESKUS

Sähkökeskuksella tarkoitetaan tiettyyn tilaan asennettua sähkön haaroitus- tai jakelupistettä. Teollisuudessa keskuksia käytetään moottoreiden syöttö- ja ohjauslaitteiden keskittämiseen, automaatiojärjestelmien ohjaukskaappeina ja kiinteistösähkön jakeluun. Sähkökeskusten valmistusvaatimuksia käsittelee standardisarja SFS-EN 61439. Työtä koskevia standardeja sähkökeskuksen osalta standardisarjassa ovat seuraavat osat:

- 61439-1: Pienjännitekeskukset. Osa 1: Yleisvaatimukset
- 61439-2: Pienjännitekeskukset. Osa 2: Ammattikäyttöön tarkoitetut kojeistot
- 61439-3: Pienjännitekeskukset. Osa 3: Maallikoiden käyttöön tarkoitetut keskukset

5.1 Sähköiset ominaisuudet

Keskuksen ja komponenttien sähköinen mitoitus riippuu käyttöpaikalla esiintyvien oikosulkuvirtojen suuruudesta. Oikosulkuvirtojen suuruuteen vaikuttavat verkon rakenne, syöttökaapeli ja käyttöpaikan generaattorit sekä moottorit. Periaatteessa keskus on mahdollista rakentaa kestäväksi kaikki oikosulkurasitukset, mutta silloin keskuksista tulisi merkittävästi tilaa vieviä ja kalliita. (SFS 154, 106) Taulukkoon 4 on kerätty keskuksen mitoituksessa ja arvokilvessä vastaan tulevia sähköisiä ominaisuuksia.

TAULUKKO 4. Suureet ja määrittelyt (SFS 154 2005, 18.)

Tunnus	Selite	Määrittely
U_e, U_n	Nimellisjännite	AC: 24 V, 50 V, 60 V, 75 V, 230 V, 400 V, 690 V ja 1000V. DC: 12 V, 24 V, 60 V, 110 V ja 120 V.
U_i	Nimellisieristysjännite	Yleisesti nimellisjännite, mutta ei voi olla nimellisjännitettä suurempi.
I_N	Nimellisvirta	Keskuksen syöttöpiirin nimellisvirta. Virta, joka voidaan johtaa keskukseseen (tai sen jonkin piirin) kautta pitkäaikaisesti ilman, että siitä aiheutuu liiallista lämpenemistä tai muuta vaaraa.
I_{CW}	Terminen nimelliskestovirta	Lyhytaikainen virran tehollisarvo, jonka virtapiiri kestää vahingoittumatta testiolosuhteissa yhden sekuntin ajan.
I_{PK}	Dynaaminen nimelliskestovirta	Virran huippuarvo, jonka piiri kestää testiolosuhteissa
I_{CC}	Ehdollinen nimellisoikosulkuvirta	Prospektiivinen virta, joka kulkisi piirissä jos virtaa rajoittava late korvattaisiin johtimella. Johtimella olisi mahdollisimman pieni impedanssi.

Tilanteisiin, jossa käyttöpaikalla esiintyviä oikosulkuvirtaa ei tiedetä, on mahdollista käyttää oikosulkukestävyuden mitoitusperustana 400 V jännitteelle suositeltua vähimmäisarvoa taulukosta 5.

TAULUKKO 5. Oikosulkukestävyyden suositellut vähimmäisarvot (SFS 154 2005, 57.)

Keskuksen nimellisvirta	Terminen nimelliskestovirta	Dynaaminen nimelliskestovirta
I_N [A]	I_{CW} [kA]	I_{PK} [kA]
≤ 125	< 5	$< 7,5$
$> 125 \leq 250$	5	7,5
$> 250 \leq 400$	6,3	10,7
$> 400 \leq 630$	12,5	25,0
$> 630 \leq 800$	16,0	32,0
$> 800 \leq 1000$	20,0	40,0
$> 1000 \leq 1600$	25,0	52,5
$> 1600 \leq 2000$	31,5	66,2
$> 2000 \leq 2500$	40,0	84,0
$> 2500 \leq 3150$	50,0	105
> 3150	Valmistajan ja tilaajan sopimuksen mukaisesti	

Kohdassa 4.1 lasketun verkkoon liittymisen perusteelta pilotin jakokeskuksen nimellisvirraksi valittiin 63 A. Oikosulkukestoisuus I_{CW} tulisi siis olla vähintään 5 kA. Testauspaikallaan keskus kuitenkin liitetään tehtaiden pääkeskuksen alakeskukseksi, joten oikosulkukestoisuutta määrittäessä tulee ottaa huomioon syötön suojalaitteiden oikosulkuvirtaa rajoittava vaikutus. Koska syötön sulakesuojauksen tyyppiä ei tiedetä varmaksi etukäteen, mitoitettiin keskuksen oikosulkukestoisuus I_{CW} 10 kA. ABB:n 63 A:n gG- kahvasulake rajoittaa 50 kA:n prospektiivisen oikosulkuvirran 8 kA, joten keskuksen oikosulkukestoisuutta voidaan pitää riittävänä.

SFS-EN 60439-1 ei vaadi oikosulkutestausta jos keskuksen I_{CW} on enintään 10kA tai sitä suojataan virtaa rajoittavilla laitteilla, joiden I_{PK} ei ylitä keskuksen syöttöliittymissä 17 kA. (SFS 154 2004, 106.)

5.2 Vikavirtasuojaja (VVS)

Vkavirtasuojaja mittaa summavirtamuuntajan tavoin virtapiirissä kuormitukseen menevän ja sieltä palaavan virran summaa. Virtojen summan ollessa 0 virtapiiri on kunnossa. Virtojen summan ylittäessä nimellistoimintavirran avautuvat suojan koskettimet. Lisäsuojaukselta vikavirtasuojalla tulee käyttää enintään 20 A pistorasiaryhmien suojaamiseen sisätiloissa ja ulkotiloissa enintään 32 A. Henkilösuojausyksikössä suurin vikavirtasuojan nimellisvirta on 30 mA ja palosuojauksessa 300 mA. (Mäkinen ym. 2004, 120.)

5.3 Keskustyyppi

Pilotin jakokeskukseen tuli sijoittaa kaikki moottorikäyttöjen lähdöt, kiinteistösähköistys ja automaatiolaitteisto. Komponenttien vaatiman tilatarpeen perusteella jakokeskukseksi valittiin Rittal:n mallistosta TS 8204.500. TS 8 on lattialla seisova kaappimallinen keskus, runkomateriaaliltaan teräspeltiä ja suojausluokaltaan IP 55. Fyysiset keskuksen mitat (LKS) ovat: 1200 x 2000 x 400 mm. Kentälle sijoitettiin pneumaattiselle ohjauksyksikölle ja automaatiolle kytkentäkaappi.

5.4 Kalustaminen

Keskuksen kalustamisessa käytettiin Phoenix Contact:n valmistamia asennustuotteita ja komponentteina ABB:n tuotteita. Kalustaminen aloitettiin irrottamalla kaappikeskuksesta asennuslevy ja kiinnittämällä siihen vetoniiteillä johtokourut ja DIN-kiskot keskuslayoutin mukaisesti (kuva 21).

Salattu.

KUVA 8. Keskuksen kalustaminen (Hirvonen 2013-06-20.)

5.5 Sisäinen johdotus

Keskuksen komponenttien ja eri osien välillä on sisäisiä johdotuksia. Johtimet tulee valita siten, että keskuksen eristysjännite täyttyy. Tavanomaisesti kytkennöissä käytetyt ML-, MK-, MKEM- ja H07V-U-K -johtimet ovat eristysjännitteeltään 750 V, joten ne soveltuvat 400V ja 690 V keskuksissa käytettäväksi (SFS 154 2005, 72). Keskuksen sisäisenä johtimena käytettiin hienolankaista MKEM-johdinta (kuva 22).

Salattu.

KUVA 9. Keskuksen johdotus (Hirvonen 2013-07-01.)

Johtimien poikkipinta-ala määräytyy kuormitusvirran perusteella. Jos lähtöihin liitettäviä kuormia ei tunneta, varokkeita syöttävien johtimien mitoittamiseen käytetään tasoituskerrointa. Kerroin määritetään kaavalla 2.

$$k = 0,1 + \frac{0,9}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

missä *k on tasoituskerroin*
 n on varokkeiden lukumäärä

(SFS 154 2005, 70.)

Taulukko 3. Tasoituskertoimien laskettuja arvoja (SFS 154 2005, 71.)

Varokkeiden lukumäärä <i>n</i>	1	2	3	4	5	6	10	12	20
Tasoituskerroin <i>k</i>	1	0,75	0,62	0,55	0,50	0,47	0,38	0,36	0,30

Tasoituskerrointa käyttäessä yhden vaiheen varokkeiden nimellisvirrat lasketaan yhteen ja jaetaan suurimman varokkeen nimellisvirralla. Tulokseksi saadaan *n*, joka tarkoittaa varokkeiden lukumäärää, jos kaikki varokkeet olisivat yhtä suuria. Varokkeiden lukumäärää vastaava tasoituskerroin *k* saadaan taulukosta 6.

Tasoituskertoimella kerrotaan varokkeiden yhteenlasketut nimellisvirrat ja johtimen poikkipinnan määrittämiseksi käytetään taulukkoa 7, jossa on kuormitusvirrat kaapelien poikkipintaa kohti. (SFS 154 2005, 70.)

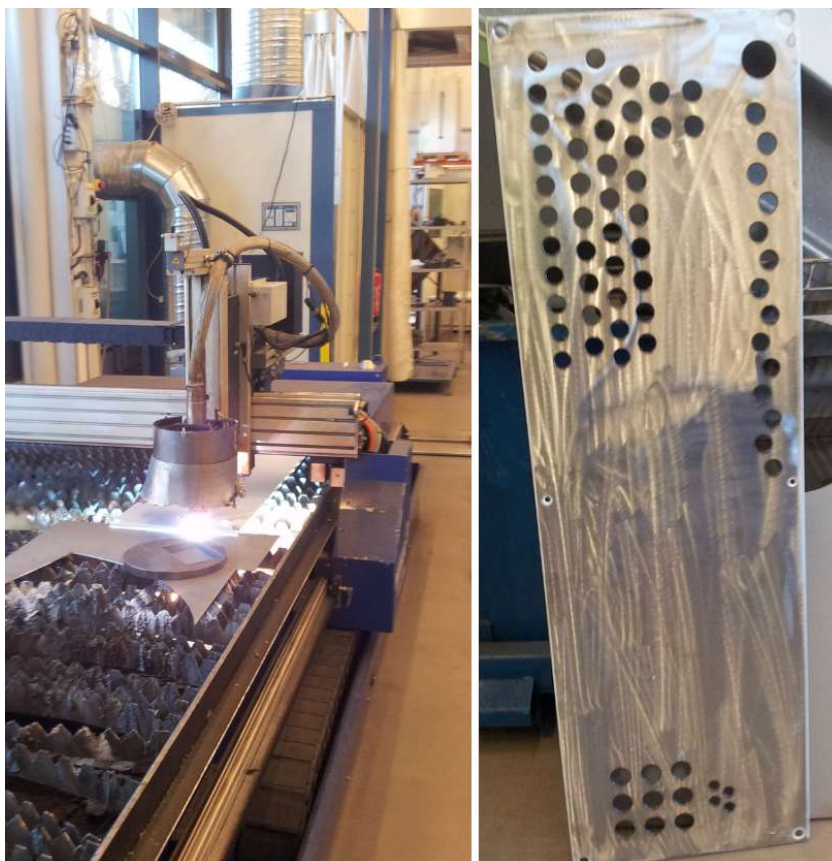
TAULUKKO 4. Keskuksen sisäisten johtimien ohjearvot (SFS 154 2005, 71.)

Johdotus yhdellä johtimella	
Kuparijohtimen poikkipinta (mm ²)	Kuormitusvirta (A)
1,5	14
2,5	20
4	26
6	33
10	62
16	82
25	107
35	135
50	160
70	200
95	245
120	280
150	320
185	365
240	425

Johdonsuojakatkaisijoiden syötön puolella käytettiin yhdyskiskoja. Yhdyskiskot vähentävät runsaasti kytkentätyötä, koska varokkeiden välinen lenkittäminen ja jokaiselle varokkeelle tuotava oma syöttö jäävät pois. Syöttökisko kytketään omaan tilaansa johdonsuojakatkaisijan kytkentäruuvien alapuolelle, joten syötön jatkaminen seuraavalle ryhmälle on mahdollista. Ryhmän syöttö kytketään kiskoa mahdollisimman keskellä olevaan varokkeeseen, jotta kuormitus olisi tasaista.

5.6 Läpiviennit

TS 8 -kaappikeskukseen liitettävät johdot tuodaan valmistajan suunnittelemissa läpivientejä käyttäen alakautta. Tämä ei kuitenkaan ollut järkevää pilotin jakokeskuksessa, koska kaapelit kulkevat ylhäällä hyllyjä pitkin. Valmiilla läpivientilaipoilla ei olisi pystytty toteuttamaan haluttua asettelua, joten läpiviennit toteutettiin itse. Kattopaneelin läpivienneistä tehtiin layout CAD-tiedostoon ja paneeli leikattiin HitSavonian ohjelmoitavalla plasmaleikkurilla (kuva 23).



KUVA 10. Plasmaleikkaus ja leikattu kattopaneeli (Hirvonen 2013-10-03.)

Plasmaleikkurin tarkkuuden ansiosta rei'ityskuvio oli suunnitellun mukainen. Keskuksen edestä katsottuna vasemmalla edessä on ryhmä- ja moottorikaapelien läpiviennit, takana taajuusmuuttajien ja oikealla automaatiojärjestelmän runkokaapelien. Läpivienteihin asennettiin Skintop-holkkitiivisteet, jotka toimivat myös vedonpoistajana. Kontin kuljetuksen aikana vedonpoistolla vältytään hyllyltä tulevien kaapeleihin kohdistuvasta vetorasituksesta sekä keskuksen sisällä olevien liittimien rasitus pienenee. Jakokeskuksen kattopaneeli on tiivistetty ja suunniteltu irrotettavaksi tarvittaessa, joten keskuksen koteloituus ei laskenut muutostöiden takia. Laajennusvaralle tehdyt reiät tulpattiin.

5.7 Suora moottorilähtö

Prosessin säätämättömien moottorikäyttöjen tehot olivat suhteellisen pieniä, joten lähtöjen suojaamisessa käytettiin perinteistä suoraa käynnistystä. Käynnistys voidaan toteuttaa suoran käynnistykseen lisäksi pehmokäynnistimellä tai tähtikolmiokäynnistyksellä. Verrattuna muihin käynnistystapoihin suoran käynnistykseen käynnistysvirta on suuri, normaalisti moottorin nimellisvirtaan verrattuna 6 – 8-kertainen. Moottorikäyttöjen päävirtapiirissä etukojeina käytettiin ylikuormitussuojana lämpöreleitä, oikosulkusuojaukseen johdonsuojakatkaisijoita ja tehon ohjaukseen kontaktoreita. Moottorilähdöt keskitettiin keskuksessa omaan osioonsa (kuva 24).

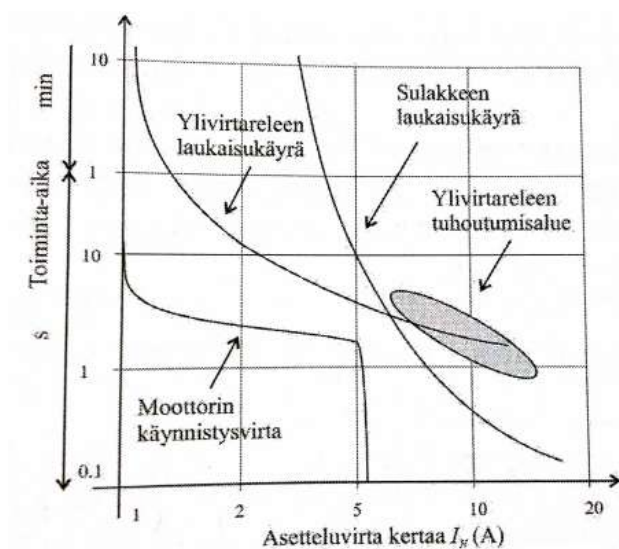
Poistettu tilaajan pyynnöstä.

KUVA 11. Valmis keskus ja osastointi (Hirvonen 2013-12-02.)

5.7.1 Lämpörele

Lämpörele asennetaan moottorin pääpiiriin suojaamaan sitä ylikuormitukselta. Moottorin ylikuormitussa virta lämmittää Bi-metallijousen ympärille olevaa kierrettyä johdinta. Johtimen taipuessa tietyllä virran asetusarvolla lämpörele laukeaa. Releen lauettua virittäminen tehdään käsin tai automaattisesti. Lämpörele valitaan moottorin nimellisvirran perusteella. (Mäkinen ym. 2004, 118.)

Lämpörele on suojattava sulaketyyppisellä lisäsuojalla, koska virran kasvaessa suureksi bi-metalliliuskan lämmittävät käämit voivat tuhoutua ennen katkaisua. Tuhoutumista estävän suojalaitteen ominaiskäyrän on sijaittava releen tuhoutumisalueen vasemmalla puolella (kuva 25). (Hietalahti 2013, 168.)



KUVA 12. Sulakesuojauksen ja ylivirtareleen yhteensovittaminen (Hietalahti 2013, 179.)

5.7.2 Johdonsuojakatkaisija

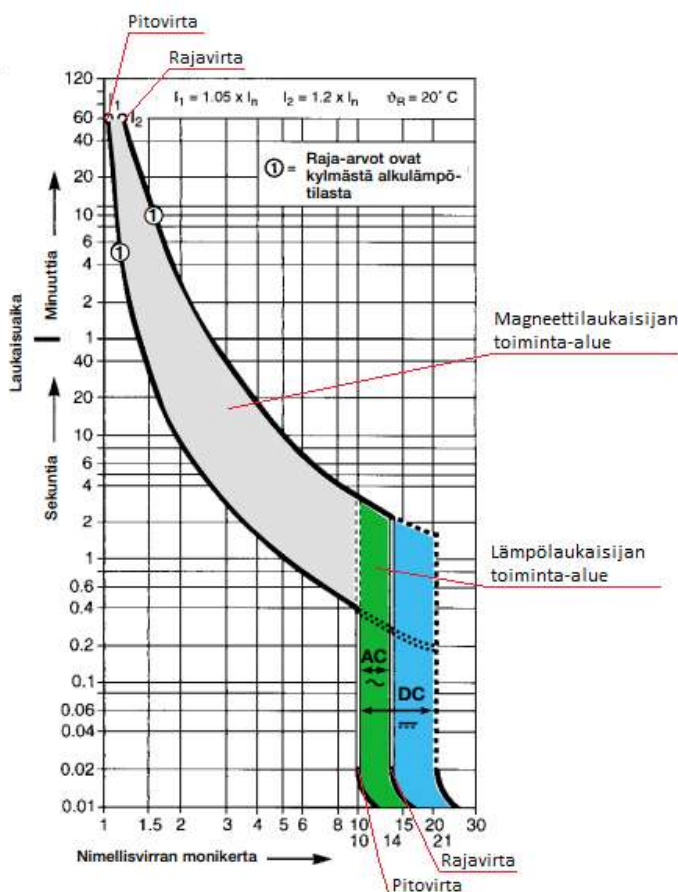
Lämpöreleen kanssa sarjassa johdonsuojakatkaisija toimii oikosulkusuojana. Suojakomponentti koostuu lämpö- ja magneettilaukaisijasta. Pienellä ylivirralla virta lämmittää Bi-metallijousta ja se toimii lämpöreleen tavoin. Magneettilaukaisin koostuu käämistä ja rautasydäimestä. Suurella ylivirralla käämin magneettikenttä vetää rautasydämen puoleensa ja sydämeen yhdistetty mekaaninen kosketin katkaisee syötön. Laukaisun jälkeen kosketin voidaan sulkea uudestaan bi-metalliliuskan jäähtyttyä. (Mäkinen ym. 2004, 124.)

Mitoitusvirraltaan johdonsuojakatkaisijoita on saatavilla 2 - 125 A:n kokoluokassa ja niiden nimellis-
katkaisukyky on tyypillisesti 6 kA tai 10 kA. Luokittelu tapahtuu laukaisukäyrien perusteella. Laukaisukäyrätyyppejä ovat B, C, K ja Z. Tyypin valinta riippuu sähkölaitteen käyttäytymisestä kytkentähetkellä verkkoon. (ABB 2006.) Taulukossa 8 on esitetty keskuksessa käytettyjen ABB:n johdonsuojakatkaisijoiden laukaisuvirrat ja ajat.

TAULUKKO 5. Johdonsuojakatkaisijan tyypit ja ominaisuudet (ABB 2006.)

Typpi	Soveltuvuus	Mitoitusvirta I_N	Terminen laukaisu			Magneettilaukaisu		
			Pitovirta	Laukaisuvirta	Aika	Pitovirta	Laukaisuvirta	Aika
B	Resistiivinen kuormitus: sähkölämmitys ja valaistus	≤ 63 A	$1,13 I_N$		> 1 h	$3 I_N$		$> 0,1$ s
				$1,45 I_N$	< 1 h		$5 I_N$	$< 0,1$ s
C	Resistiivinen ja lievästi induktiivinen kuormitus: valaistusrymät ja pistorasiaryhmät	≤ 63 A	$1,13 I_N$		> 1 h	$5 I_N$		$> 0,1$ s
				$1,45 I_N$	< 1 h		$10 I_N$	$< 0,1$ s
K	Voimakkaasti induktiivinen kuorma: moottorikäytöt, muuntajat ja sähkötyökalut	≤ 63 A	$1,05 I_N$		> 1 h	$8 I_N$		$> 0,2$ s
				$1,2 I_N$	< 1 h		$12 I_N$	$< 0,2$ s
Z	Puolijohteet, tyristorit, diodit, mittamuuntajat ja pitkät ohjauskaapelit	≤ 63 A	$1,05 I_N$		> 1 h	$2 I_N$		$> 0,2$ s
				$1,2 I_N$	< 1 h		$3 I_N$	$< 0,2$ s

Jakokeskuksen moottorikäytöt oikosulkusuojattiin K-tyyppin johdonsuojakatkaisijoilla. Kuvaan 26 on merkitty K-tyyppin laukaisukäyrän pito- ja rajavirrat sekä toiminta-alueet magneetti- ja lämpölaukaisijalla.



KUVA 13. ABB K-tyyppin laukaisukäyrä (ABB 2006, muokattu.)

5.7.3 Kontaktori

Kontaktoreita käytetään kytkinlaitteena ohjaamaan päävirtapiiseissä suuria virtoja, sähkötehoja ja pääjännitettä. Releisiin verrattuna toimintaperiaate on muuten samanlainen, mutta avausvälejä on

tyypillisesti kaksi yhtä vaihetta kohti. Kontaktorissa on yleensä muutama avautuva ja sulkeutuva apukosketin sekä liitettävissä on lisää apukosketinlohkoja sekä ajastin- tai salpayksiköitä.

Kontaktori valitaan kuormituksen tehon ja tyyppin perusteelta (taulukko 9). Induktiivisella kuormalla kytkettäessä syntyy kipinäntä itseinduktion takia. Resistiivisellä kuormalla kipinäntä ei synny. (Mäkinen ym. 2004, 122 - 123.)

TAULUKKO 6. Kontaktorien käyttöluokat (Mäkinen ym. 2004, 123.)

Käyttöluokka	Kuormitus
AC 1	Helpot kytkentäolosuhteet: resistiiviset kuormitukset tai heikosti induktiiviset kuormat
AC 2	Normaalit kytkentäolosuhteet
AC 3	Vaikeat kytkentäolosuhteet: oikosulkumoottorin käynnistys
AC 4	Erittäin vaikeat kytkentäolosuhteet: oikosulkumoottorin käynnistys ja tippakäyttö tai nykäyskäyttö. Vastavirtajarrutukset ja suunnanvaihdot.

Oikosulussa kontaktorin koskettimien välille syntyy valokaari, joten kärjet sulavat ja hitsautuvat yhteen. Hitsautumisesta voi syntyä maasulku tai vaiheiden välinen oikosulku, minkä vuoksi on tärkeää suojata kontaktori etusulakkeella tai katkaisijalla. (Mäkinen ym. 2004, 123.)

5.7.4 Apurele

Apurelettä käytetään ohjausvirtapiireissä ohjaamaan kontaktorin kela tai kosketintietojen välittämiseen. Apureleessä rautasydäminen kela magnetisoituu ja kela vetää puoleensa rautasydäntä. Rautasydämen kehikossa olevat liikkuvat koskettimet yhdistävät kiinteät navat. Galvaanisen erotuksen ansiosta saavutetaan jännitteiden erottaminen ja eri jännitetasojen käyttö piirien välillä. Apureleitä on saatavilla vaihto- ja tasajännitteelle. Releen vetäminen ilmoitetaan merkkivalolla tai LED:llä. (Mäkinen ym. 2004, 122.)

Jakokeskuksessa käytettiin erittäin kapeita DIN-kiskoon liitettäviä riviliitinreleitä. Phoenix Contactin apurelemallistossa on irrotettavat releosa ja merkkivalo toiminnalle.

5.8 Säädetty moottorilähtö

Moottorikäyttöjä säädettiin pilotissa keskukseen keskitetyillä laitekohtaisilla taajuusmuuttajilla. Taajuusmuuttaja säätää moottoria taajuutta muuttamalla ja lisäksi suojaa sen erilaisilta vikatilanteilta, kuten moottorin ylikuormitukselta ja jumiutumislta (Hietalahti 2013, 75).

5.8.1 EMC-yhteensopivuus

Taajuusmuuttajien verkon tai moottorilähdön puolelle on mahdollista asentaa EMC-suodin. Moottorilähdön suotimen tarkoituksena on tehdä jännite ja virta mahdollisimman sinimuotoiseksi, jotta häiriöitä verkossa vältyttäisiin. Vaihtosuuntaajat aiheuttavat tyypillisesti 2 – 16 kHz taajuisia harmonisia ylivirtoja. Harmoniset ylivirrat voivat häiritä automaation mittasignaaleja ja muita herkkiä laitteita. (Hietalahti 2013, 84 - 85.)

5.8.2 Taajuusmuuttajan mitoitus

Taajuusmuuttaja valitaan verkkojännitteen ja tehon perusteella, jos kuormituksessa ei ole ylikuormitustilanteita. Rajallinen ylikuormitettavuus johtuu tehoelektronikan komponenttien lämmönkestosta. Kuormavirran kasvaessa syntyy enemmän häviöitä ja siten ylimääräistä lämpenemistä komponentteihin. Vaihtelevalla kuormitusmomentilla mitoitus tehdään suurimman käytössä esiintyvän virran perusteella. Taajuusmuuttajan sallittua lyhytaikaista ylikuormitusta voidaan käyttää hyväksi mitoituksessa. (Hietalahti 2013, 137 - 138.)

6 AUTOMAATIO

6.1 PLC

Ohjelmoitava logiikka (Programmable Logic Controller, PLC) on teollisuuteen suunniteltu tietokonepohjainen yksikkö, jota käytetään toimintojen reaaliaikaiseen ohjaukseen automaatioprosesseissa. Tyypillinen PLC koostuu muistista, prosessorista, virtalähteestä sekä tulo- ja lähtöyksiköistä. Tuloyksiköiden avulla logiikka saa tietoa järjestelmän tilasta ja lähtöyksiköiden kautta se ohjaa prosessia. Tietokoneella luodaan ohjelma, joka tallennetaan PLC:n RAM-muistiin. PLC suorittaa syklisesti seuraavat toimenpiteet:

1. Tulojen lukeminen: tarkastaa tulojen tilan ja päivittää tiedot muistiin.
2. Ohjelman suoritus: suorittaa ohjelman mukaiset toimenpiteet ja tallentaa tulokset muistiin.
3. Kirjoittaa lähdöt: päivittää lähtöjen tilat vastaamaan muistissa edellisen kohdan tuloksia.

Toimenpiteiden suorittamiseen kuluva aika riippuu CPU:n kellotaajuudesta, ohjelman laajuudesta sekä I/O-yksiköiden määrästä (Lipták 2006, 907 - 911).

Lähettimien ja toimilaitteiden hälytys- ja tilatiedot saadaan painonappien, rajakytkimien ja releiden kautta digitaalisilla tuloilla (DI). Digitaalisten lähtöjen (DO) kautta voidaan ohjata releiden koskettimia, jotka käynnistävät ohjauspiirin avulla erilaisia kenttälaitteita. Asentoa tai mittaustietoa paineesta, virtauksesta ja lämpötilasta saadaan analogisen tulojen (AI) virta- tai jänniteviestin kautta. Analogisilla lähdöillä (AO) välitetään ohjearvoja, kuten moottorin nopeutta. (Lipták 2006, 912 - 914)

6.1.1 Labview

National Instrumentin kehittämä Labview-alusta on kehitysympäristö graafiseen ohjelmointiin. Labview soveltuu mittaustiedon keräämiseen sekä teollisuuden ohjaukseen ja automaatioon. Labview:n ohjelmia kutsutaan virtuaalisiksi instrumenteiksi (VI, Virtual Instrument). VI:t koostuvat kolmesta osasta: ohjelmointipaneelistä, etupaneelistä ja yhteyspaneelistä. Ohjelmointi tapahtuu virtauskaavio periaatteella yhdistämällä johtoja ohjelmointipaneelissa (kuva 29) virtuaalisten instrumenttien välille. (Halvorsen 2014, 1 - 2.)

Poistettu tilaajan pyynnöstä.

KUVA 14. Ohjelmointipaneeli pilotin ohjelmasta

Virtauskaavion VI-lohkot voivat sisältää aliohjelmia, funktioita, vakioita ja rakenteita. Etupaneelit näkyvät virtauskaaviossa terminaaleina. Käytännössä etupaneeli on VI:n käyttöliittymä, jossa on ohjaimia ja indikaattoreita. Ohjaimet ovat VI:n tuloja, joihin syötetään ohjelmalle ohjausarvoja säätimien, painonappien ja valitsimien avulla. Indikaattorit esittävät käynnissä olevan ohjelman ulostulujen dataa käyttäjälle käyrillä, ledeillä ja näytöillä. Yhteyspaneelin avulla yhdistetään VI:n tulot ja lähdöt etupaneelin komponentteihin. (Halvorsen 2014, 5 - 9.)

6.1.2 Valvomo

Poistettu tilaajan pyynnöstä.

6.2 Profibus DP

Prosessin kenttäväyläksi valittiin Siemens:n Profibus DP (Decentralized Periphery), joka on suunniteltu nopeaan digitaaliseen tiedonsiirtoon automaatiojärjestelmän ja hajautettujen kenttälaitteiden välillä. Väylään liittämiseksi jokaisella Profibusta tukevalla laitteella on valmistajan oma GSD-tiedosto. GSD-tiedosto sisältää laitteen keskeisimmät tiedot, säädettävät parametrit, diagnostiikan, käytettävissä olevat I/O:t ja sallitut raja-arvot säädölle. GSD korvaa tavanomaiset laitekohtaiset manuaalit ja tukee myös automaattista virheenkorjausta. (Profibus Nutzerorganisation e. 2009, 11 - 13.)

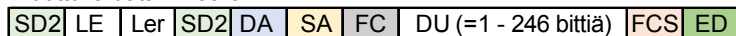
Profibus DP -väylän kommunikaatio tapahtuu monen isännän välillä tai isäntä-orja periaatteella. Tyypillisesti isäntälaitteet ovat logiikkayksiköitä tai tietokoneita. Isäntälaitetta kutsutaan DPM1 (DP Master Class 1), joka sykleittäin lukee orjalaitteiden informaatiota ja kirjoittaa käskyt toimilaitteille. Orjat (I/O laitteet, HMI, venttiilit, muuntajat, taajuusmuuttajat, analyysoivat laitteet) lukevat niille osoitetun väylän tiedon ja ulostulojen avulla vaikuttavat prosessiin. (Lipták ym. 2012, 616 - 617.)

Tiedonsiirtonopeus on riippuvainen väylän pituudesta. Nopeus on 12 Mb/s kaapelipituuden ollessa 100m ja 96 kb/s kun kaapelin pituus on 1200m. Verkon rakenne riippuu käytetystä kaapelista. Valokuidulla verkko voidaan tehdä tähdeksi tai säteittäiseksi. Suojatulla RS-485 parikaapelilla käytettäessä verkko on lineaarinen tai puun muotoinen. Kaapelin alku sekä loppupäässä signaali terminoidaan päätevastuksilla. (Profibus Nutzerorganisation e. 2009, 40 - 47.)

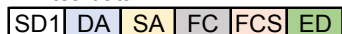
Yhdessä segmentissä laitteita voi olla 32 kappaletta ja käytettäessä vahvistimia 126. Jokaisella laitteella on väylällä oma osoite, osoitteet ovat väliltä 0-125. Yleisesti alhaiset numerot annetaan isäntälaitteille. Käytössä on kolme viestiprotokollaa DP-V0, DP-V1 ja DP-V2, jossa jälkimmäinen lisää aina edelliseen toimintoja. DP-V0 tarkoittaa syklistä tiedonvaihtoa isännän ja orjan välillä tai diagnostiikkaa. DP-V1:ssä on mahdollista asynkroninen tiedonsiirto eli syklien aikana voidaan samalla diagnosoida, parametroida, valvoa ja välittää hälytykset orjilta. Orjien välinen kommunikointi ilman tiedon kierrättämistä isännän kautta on mahdollista DP-V3-protokollassa sekä viestien lähettäminen vakioaikoina. Data liikkuu väylällä viestikehyksissä (telegram), joille on määritelty vakiorakenne. (Profibus Nutzerorganisation e. 2009, 57 - 58; Aalto-yliopisto, 2012, 7 - 8.)

Kolme eri viestikehystyyppiä:

Muuttuva datan määrä



Kiinteä data



Kuittaus



SD1 on laitteen tilan tiedustelu ja kuittamiseen tarkoitettu. SD2:lla voidaan siirtää informaatiota ja SC:llä kuitataan viesti. Viestikehys koostuu tietokentistä, jossa kentät tarkoittavat seuraavaa:

SD1, SD2, SC = Kehyksen tyyppi (Start Delimiter)

LE = Pituus (Length)

Ler = Pituuden toisto (Length repeated)

DA = Vastaanottajan osoite (Destination address)

SA = Lähettäjän osoite (Source address)

FC = Funktion koodi (Function code)

DU = Datalohko (Data unit)

FCS = Tarkistuslohko (Frame check sequence)

ED = Lopetuslohko (End delimiter)

(Irwin ym. 2011, 32-5.)

6.3

Kenttäväylä pilotissa

Poistettu tilaajan pyynnöstä.

7 POHDINTA

Poistettu tilaajan pyynnöstä.

LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

- ABB 2006. Johdonsuojakatkaisijat, vikavirtasuojakytkimet, henkilösuojat, vikavirtayksiköt S 200 P – sarja. [Viitattu 2014-12-20.] Saatavissa: [http://www08.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/26b7051f45e4e9ccc125707300247ed9/\\$file/s200_1fi05_01.pdf](http://www08.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/26b7051f45e4e9ccc125707300247ed9/$file/s200_1fi05_01.pdf)
- AARRELAMPI, Hannu. 2009. Kaapelia väylään. [Viitattu 2014-12-20.] Saatavissa: http://www.cc.puv.fi/~ot/ISA0604%20Datasiirron%20perusteet/Profibus/Promaint_8-09_25-27.pdf
- AALTO-YLIOPISTO. 2012. Automaatio- ja systeemitekniikan laboratoriotyöt. Työohje. [Viitattu 2014-11-08] Saatavissa: https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/as-0.2230/lisatty4281/AS-0_2230_ty-oohje_2012.pdf
- AITTOMÄKI, Esa, EERIKÄINEN, Tero, LEISOLA, Matti, OJAMO, Heikki, SUOMINEN, Ilari ja WEYMARN, Niklas. 2002. Bioprosessitekniikka. Porvoo: WS Bookwell Oy.
- BALTIC SEA REGION PROGRAMME 2007-2013 2013. ABOWE-project details. [Viitattu 2015-01-05.] Saatavissa http://eu.baltic.net/Project_Database.5308.html?&contentid=86&contentaction=single
- BÜRKERT 2009. Mass flow controllers for gases. [Viitattu 2014-12-1.] Saatavissa: http://www.burkert.com/en/media/EN_ProductOverview_06_MFC%281%29.pdf
- D1-2012. 2013. Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. Helsinki: Sähköinfo Oy.
- DORAN, Pauline M. 1995. Bioprocess Engineering Principles. Englant: Academic Press.
- EVANS, Gareth M., FURLONG, Judith C. 2003. Environmental Biotechnology Theory and Application. Englant: John Wiley & Sons Ltd.
- HACH 2014 a. Hach LDO Technology for the Power Industry. [Viitattu 2014-12-14.] Saatavissa: <http://www.hach.com/PowerLDO>
- HACH 2014 b. Process pH - Digital Differential Sensors. [Viitattu 2014-12-13.] Saatavissa: <http://www.hach.com/guides/ProcessPH/pr-guide-processpH-pHD-en.jsp>
- HALVORSEN, Hans-Petter. 2014. Introduction to LabVIEW. [Viitattu 2014-12-20.] Saatavissa: <http://home.hit.no/~hansha/documents/labview/training/Introduction%20to%20LabVIEW/Introduction%20to%20LabVIEW.pdf>
- HIETALAHTI, Lauri. 2013. Teollisuuden sähkökäytöt. Vantaa: Amk-Kustannus Oy Tammertekniikka.
- IRWIN, David J., WILAMOWSKI, Bogdan M. The Industrial Electronics Handbook: Industrial Communication System. 2011 USA: CRC Press.
- INOR 2014. Yleistä vastusantureista. [Viitattu 2014-11-24.] Saatavissa: <http://www.inor.se/temperatur/temperatur-produkter/TempDel1Finsk/Teoriaa.pdf>
- JÄÄSKELÄINEN, Ari 2013–23–12. Yleiskuva kontista [digikuva]. Projektin sisäiset tiedostot [verkko-levy]. Sijainti: Pictures And Videos.
- KALEMA, Timo, TAIVALANTTI, Kirsi, KERÄNEN, Hannu, TEIKARI, Minna, LUHANKA, Juha, RIPATTI, Raimo, SAARELA, Tapio. 2003. Rakennusten lämmöntarpeen laskentaohje. Jyväskylä: Gummerrus Kirjapaino Oy.
- KUUTTI, Jussi 2009. Kalibrointikaasujen sekoitusmenetelmien tutkiminen ja kehittäminen. Teknillinen korkeakoulu. Sovellettu elektroniikka. Diplomityö. [Viitattu 2014-11-28.] Saatavissa: <http://lib.tkk.fi/Dipl/2009/urn100027.pdf>
- LIPTÁK, Béla G. 2006. Instrument Engineers' Handbook, Volume 2: Process Control and Optimization. USA: CRC Press.
- LIPTÁK, Béla G, EREN Halit. 2012. Instrument Engineers' Handbook, Volume 3: Process Software and Digital Networks. USA: CRC Press.
- MÄKINEN, Markku J.J., KALLIO, Raimo. 2004. Teollisuuden sähköasennukset. Helsinki: Otava.

PERE, Aimo. 2004. Koneenpiirustus korkeakouluja varten. Espoo: Kirpe Oy.

PRODUAL 2014. Lämpötilan mittaus PT 100. [Viitattu 2014-11-30.] Saatavissa: <http://www.pro-dual.fi/FI/Tuotteet/L%C3%A4mp%C3%B6tilan%20mittaus/PT%20100>

PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2009. PROFIBUS Installation Guideline for Planning. Verkköjulkaisu. [Viitattu 2014-11-08.] Saatavissa: http://www.profibus.com/uploads/media/PROFIBUS_Planning_8012_V10_Aug09.pdf

SAMPLION 2014. PMEU laitteiston tekninen esittely. [Viitattu 2014-11-30.] Saatavissa: <http://www.samplion.fi/fi/laitteisto/>

SFS-KÄSIKIRJA 16 2003. Moottorikeskukset ja ohjelmoitavat ohjaukset. Vakiosovelluksia enintään 1000V moottorikäyttöille. 2003. Helsinki: SUOMEN STANDARDISOINMISLIITTO SFS RY.

SFS-KÄSIKIRJA 22-3 2010. Tekniset tuoteasiakirjat. Osa 3: Kaaviot. 2010. Helsinki: SUOMEN STANDARDISOINMISLIITTO SFS RY.

SFS-KÄSIKIRJA 154 2005. Jakokeskukset. 2005. Helsinki: SUOMEN STANDARDISOINMISLIITTO SFS RY.

SFS-KÄSIKIRJA 616 2011. Tekninen dokumentointi – viitetunnusjärjestelmä ja sovellukset. 2011. Helsinki: SUOMEN STANDARDISOINMISLIITTO SFS RY.

SIEMENS 2012. Sinamics G120C. [Viitattu 2014-12-15.] Saatavissa: http://www.empautomation.com/LinkClick.aspx?fileticket=hVDBFW_yMGw%3D&tabid=348

SIVONEN, Markku. 2001. Teollisuuden Instrumentointi. Rakenne ja suunnittelu. Helsinki: AEL OY.

SUHONEN, Anssi. 2014. Abowe Pilot Plant A, Layout REV G [dwg-tiedosto]. Projektin sisäiset tiedostot [verkkolevy]. Sijainti: Layout Drawings.

WANGEN GmbH 2013. Epäkeskoruuvipumpun käyttöohjeet KL. Saksa.