

Mikko Grommi

# Biomassakaasuttimen prosessimittauksien ja sähköistyksen kehittäminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

YAMK

Sähkö ja automaatiotekniikka

Opinnäytetyö

15.11.2017

Tekijä	Mikko Grommi
Otsikko	Biomassakaasuttimen prosessimittauksien ja sähköistyksen kehittäminen
Sivumäärä Aika	43 sivua + 5 liitettä 15.11.2017
Tutkinto	Tekniikan ylempi ammattikorkeakoulututkinto
Koulutusohjelma	Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	Sähkö- ja automaatiotekniikka
Ohjaajat	Lehtori Markku Inkinen, Metropolia Tiimipäällikkö Ilkka Hiltunen, VTT
<p>Opinnäytetyössä oli tavoitteena suunnitella ja toteuttaa VTT Oy:lle pilot kokoluokan kiinteäkerroskaasuttimen sähköistys ja automatisointi Espoon Kivenlahteen. Koelaitteen on tulevaisuudessa tarkoituksena palvella uuden CHP teknologian kehitystyötä. Lisäksi työssä on käsitelty koelaitteen ympärille rakennettua laajempaa tutkimuskokonaisuutta sekä kerrottu mahdollisista tulevaisuuden kehittämishankkeista.</p> <p>Tavoitteena oli luoda järjestelmä koelaitteen sähköistyksen, prosessimittauksien ja automatisoinnin osalta sille tasolle, että tulevaisuudessa uuden CHP teknologian kehittämiseen perustuvan kiinteäkerroskaasuttimen koeajot laitteella olisivat mahdollisia. Tulevalla koelaitteella pyritään tekemään taustatutkimusta mahdollisen demonstraatiolaitoksen rakentamisen ja suunnittelun tueksi.</p> <p>Koelaitteella on tarkoitus kehittää uusiutuvan energiatuotannon ratkaisuja, jotka parantavat merkittävästi biomassapohjaisen yhdistetyn sähkön ja lämmöntuotannon potentiaalia ja kilpailukykyä Suomessa ja globaalisti. Ratkaisut mahdollistavat uusiutuvien energianlähteiden osuuden kasvun energiantuotannossa sekä uusien energiapalveluiden kehittymisen haja-asutusalueille ja edistävät hajautettua energiantuotantoa. Erityistavoitteena on laajoille vientimarkkinoille soveltuvan bioenergia-alan huipputeknologian kehittäminen ja tarvittavien yhteistyöverkostojen luominen.</p>	
Avainsanat	Kiinteäkerroskaasutin, CHP, biomassa

Author(s) Title	Mikko Grommi Development of process measuring and electrification of a biomass gasifier
Number of Pages Date	43 pages + 5 appendices 15 November 2017
Degree	Master's degree
Degree Programme	Automation and electrical degree programme
Specialisation option	Automation and electrical specialisation option
Instructor(s)	Principal Lecturer Markku Inkinen, Metropolia Team Leader Ilkka Hiltunen, VTT
<p>The aim of the thesis was to design and implement the electrification and automation of the pilot size fixed-bed gasifier of the VTT Ltd. in Kivenlahti, Espoo. In the future, the test equipment will serve the development of new CHP technology. In addition, a broader set of researches around the test equipment has been discussed, as well as a description of possible future development projects.</p> <p>The aim was to create a system for electrification, process measurement and automation of the test apparatus to the level that future test runs of a fixed-bed gasifier based on the new CHP technology would be possible. The aim of the future experiment is to carry out a background research to support the design of a possible demonstration plant.</p> <p>The test equipment is designed to develop solutions for renewable energy production that significantly enhance the potential and competitiveness of biomass-based combined heat and power production in Finland and globally. The solutions enable renewable energy sources to grow in energy production and the development of new energy services in sparsely populated areas and promote decentralized energy production. The specific objective is to develop cutting edge technology for the bioenergy industry and to create the necessary co-operation networks.</p>	
Keywords	Fixed-bed gasifier, CHP, biomass

## Sisällys

1.	Johdanto	1
1.1	Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy	1
1.2	VTT Oy:n historia	2
1.3	Kehittämistehtävän lähtökohdat	3
1.4	Kehittämistehtävä rajaus	5
2	Tutkimusongelma	5
2.1	Biomassan kaasutusprosessi	7
2.2	Tutkimuskysymykset	10
2.3	Kehittämistehtävän tavoitteet ja mittarit	11
3	Teoreettinen viitekehys	11
3.1	Kaasuanalyysi mittaukset	16
3.2	Lämpötila mittaukset	18
3.3	Paine/paine-ero mittaukset	19
3.4	Pintarajojen mittaukset	20
3.5	Pyörintävahdit	21
3.6	Turvallisuus ja valvontajärjestelmät	24
4	Kehittämistehtävän toteutus	26
4.1	Koelaitteen mittaukset	27
4.2	Koelaitteen polttoaineen ja petilisäaineiden syöttö	30
4.3	B-TA-120 täyttösekvenssi	31
4.4	B-TA-140 täyttösekvenssi	33
4.5	Koelaitteen turvallisuus ja hätäseistoiminnat	34
5	Kehittämistehtävän tulokset ja jatkohankkeet	38

Lähdeluettelo

Liitteet

Liite 1. Kaasuanalyysin kytkentä logiikkaan

Liite 2. Lämpötilamittauksien kytkentä logiikkaan

Liite 3. Paine/paine-ero mittauksien kytkentä logiikkaan

Liite 4. Pintaraja mittauksien kytkentä logiikkaan

## Lyhenteet

VTT	Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
CHP	Combined Heat and Power, sähkön ja lämmön yhteistuotanto
MIKES	Osa Teknologian Tutkimuskeskus VTT Oy:tä
SI	Kansainvälinen yksikköjärjestelmä
HAZOP	Hazard and Operability study, poikkeamatarkastelu
Fischer-Tropsch	Prosessi, joka kehitettiin Saksassa 1920-luvulla nestemäisten polttoaineiden tuottamiseksi

## 1 Johdanto

Tämän opinnäyttötöyön on tilannut Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. Kehittämistehtävän ohjaajana VTT:llä on toiminut tiimipäällikkö diplomi-insinööri Ilkka Hiltunen. Itse työskentelen tutkimusinsinöörinä samassa tiimissä.

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:lle pilot kokoluokan kiinteäkerroskaasuttimen sähköistys ja automatisointi Espoon Kivenlahteen. Koelaitteen on tarkoitus palvella uuden CHP teknologian kehitystyötä tulevaisuudessa.

### 1.1 Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy on kansallisella statuksella toimiva Pohjoismaiden johtava tutkimus- ja teknologiayhtiö. VTT tuottaa tutkimuksen ja tiedon kautta asiantuntijapalveluja kotimaisille ja kansainvälisille asiakkaille, liike-elämälle, julkiselle sektorille ja muille yhteystyökumppaneille. Taustalla on yli 70 vuotta tiedettä, huippututkimusta, tuloksia ja näyttöjä asiakkaiden kilpailukyvyn kasvusta ja menestyksestä.

VTT kehittää uusia älykkäitä teknologioita, tuloksellisia ratkaisuja ja rakentaa menestystä ja hyvinvointia ihmisten parhaaksi. [1.]

### VTT:n avainluvut 2016

TALOUS	Kon- serni	Emoyhtiö		
		2016	2015	2016
Liikevaihto (1000 euroa)	188378	184538	162572	157915
Liiketoiminnan muut tuotot (1000 euroa)	80375	87357	86430	92577
Valtionosuus	77235	85384	77235	85384
Muut	3640	1973	9195	7193
Liikevoitto (1000 euroa)	-244	3333	1442	2729
Liikevoitto (%)	-0,1	1,8	0,9	1,7
Oman pääoman tuotto (%)	-1,1	2,6	1,1	2,1
Omavaraisuusaste (%)	67,3	65,5	66,9	65,2

Teknologia tutkimuskeskus VTT Oy:n liikevaihdosta vuonna 2016 oli julkisen sektorin tuottoja 62% ja yksityisen sektorin tuottoja 38%.

Vuoden 2016 liikevaihdosta 64% kertyi kotimaasta ja 36% ulkomailta. Ulkomaan liikevaihdosta 83% tuli Euroopasta, 10% Pohjois- ja Etelä Amerikasta, 6% Aasiasta ja 1% muualta. [1.]

Henkilöstö	Konserni		Emoyhtiö	
	2016	2015	2016	2015
Henkilöstön määrä keskimäärin	2439	2532	2159	2252
-Ylin ja keskijohto	132	145	110	123
-Tutkijat	1577	1609	1454	1487
-Tutkimusta avustavat	387	384	253	258
-Harjoittelijat	36	45	36	45
-Hallinto	282	287	275	279
Määräaikaiset työsuhteet	182	166	170	155
Osa-aikaiset työsuhteet	238	205	211	182
Miesten lukumäärä	1483	1521	1300	1351
Naisten lukumäärä	931	949	828	841
Henkilöstökulut (1000 euroa)	152298	155880	136986	140858

Teknologian tutkimuskeskus VTT:n palveluksessa oli tilikauden 2016 aikana keskimäärin 2159 työntekijää. Tilikauden henkilötyövuodet olivat 1991 henkilötyövuoden suuruisina. [1.]

## 1.2 VTT Oy:n historia

VTT:n historia alkoi 16. tammikuuta 1942, jolloin presidentti Risto Ryti allekirjoitti lain Valtion teknillisestä tutkimuslaitoksesta. VTT toimi kauppa- ja teollisuusministeriön alaisuudessa. VTT:n tehtävänä oli tehdä teknillistä tutkimustoimintaa tieteellisessä ja yleishyödyllisessä tarkoituksessa. Lisäksi VTT:n oli testattava viranomaisten, yksityisten henkilöiden ja yritysten tai yhteisöjen pyynnöstä materiaaleja ja rakenteita. VTT:llä oli myös oikeus tehdä maksullisia toimeksiantotutkimuksia. [1.]



VTT sai virallisesti itsenäisen aseman, vaikka se käytännössä toimikin tiiviissä yhteydessä Teknillisen korkeakoulun kanssa. VTT:llä oli alussa 10 laboratoriota: rakennusteknillinen, puuteknillinen, paloteknillinen, metalliteknillinen, vuoriteknillinen, sähkötekniillinen ja kemiallisteknillinen, sillanrakennus- ja staattinen laboratorio sekä tielaboratorio ja elintarviketeollisuuslaboratorio. VTT:n tilojen rakentaminen Lönnrotinkatu 37:een, Helsingin Hietalahteen, aloitettiin heti tammikuussa 1942. Rakennus saatiin valmiiksi samana syksynä. Päärakennukseen asettui tutkimuslaitoksen johto ja laboratorioista seitsemän. Loput sijoituivat korkeakoulun tiloihin. [1.]

Vuosikymmenien aikana on muutoksia tapahtunut, mutta merkittävin nykypäivään vaikuttava muutos tapahtui Valtioneuvoston 5.9.2013 tekemällä periaatepäätöksellä, jossa valtion tutkimuslaitosten rakenteita ja tutkimusrahoitusta uudistettiin. VTT ja Mittatekniikan keskus MIKES yhdistettiin. VTT muuttui valtion kokonaan omistamaksi, voittoa tavoittelemattomaksi erityistehtäväyhtiöksi Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:ksi. Uuden osakeyhtiömuotoisen VTT:n toiminta alkoi 1.1.2015. Yhtiömuotoinen toiminta antaa joustavammat rahoitusmahdollisuudet talouden suunnitteluun ja liiketoiminnan kehittämiseen. VTT Oy saa edelleen valtiolta tutkimusrahoitusta perustehtävänsä hoitamiseen, yritysten liiketoiminnan uudistumista palvelevan osaamisen luomiseen. [1.]

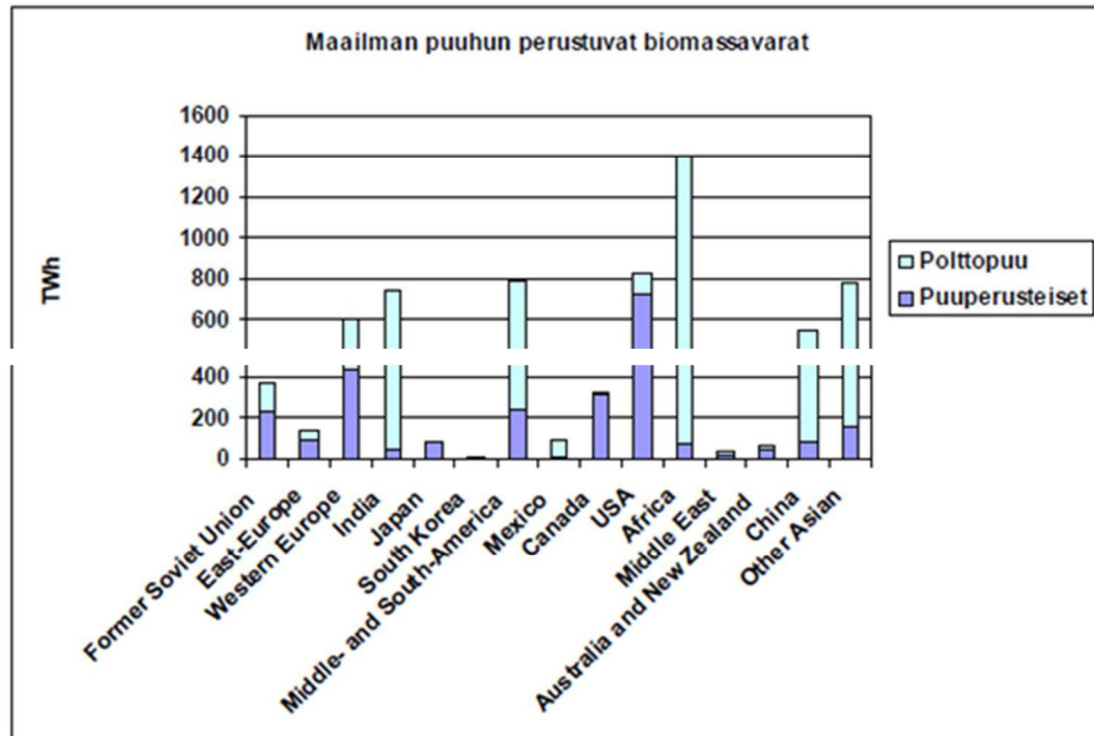
### 1.3 Kehittämistehtävän lähtökohdat

Tarve ja kysyntä uusiutuvalle energialle kasvavat hyvin voimakkaasti ympäri maailmaa. Kasvihuonekaasujen päästörajat eripuolilla maailmaa luovat nopeasti kasvavia markkinoita uusiutuvalle energiantuotannolle.

Samanaikaisesti kehittyvissä maissa kasvava sähkönkulutus aiheuttaa merkittäviä ongelmia ja kysyntä hajautetulle energiantuotannolle on valtava.

Tällä hetkellä markkinoilla ei ole mikro- ja pien-CHP kokoluokassa (<2000 kWe) hyvällä hyötysuhteella ja laajalla polttoainepohjalla toimivaa biomass-CHP-laitosta. Olemassa olevat pienen kokoluokan kaasutukseen perustuvat sähkön- ja lämmöntuotantolaitokset pohjautuvat toisen maailmansodan aikana laajasti käytössä olleeseen myötävirtakaasuttimeen. Myötävirtakaasuttimen rakenne, jossa polttoaine valuu kavennetun kurkun kautta, rajoittaa kuitenkin kokoluokan noin 50 kWe ja mahdollistaa vain palamaisen ja erittäin hyvälaatuisen polttoaineen käytön. Vastaavasti polttoon perustuvien CHP-laitosten hyötysuhde on huono ja investointi kallis pienessä kokoluokassa. Poltto-laitokset ovat kilpailukykyisiä noin 5-10 MWe kokoluokassa, jolloin käytettävän paikalli-

sen polttoaineen määrä on useimmiten rajoittava tekijä ja polttoaineen kuljetus kustannukset nostavat polttoaineen hintaa. Maailman biomassavarat ovat erittäin suuret, mutta melko hajanaiset ja puu- tai peltobiomassojen saatavuus on paikallisesti rajoitettua. Maailman puu- ja peltobiomassojen varoja on selvitetty usean eri toimijan näkökulmasta ja ne mahdollistavat erittäin merkittävän liiketoiminnan luomisen laajalla polttoainepohjalla toimivalle CHP-tekniikalle. [2, s. 3]



Kuva 1. Maailman puuhun perustuvat biomassavarat. [3, s. 10]

Biomassaa polttoaineena käyttävä sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitos kokoluokassa 50-2000 kWe soveltuu maatalo-, kylä- tai pienteollisuuskohteisiin ja mahdollistaa paikallisen teollisuuden sivutuotteiden tai maanviljelyn tähteiden käytön polttoaineena. Laaja polttoainepohja laskee käytettävän polttoaineen hintaa ja samalla mahdollistaa polttoaineen hankinnan paikallisesti ilman pitkiä kuljetusmatkoja. [2, s. 4]



Kuva 2. Edullisia ja laajalti hyödyntämättömiä biomassavaroja. [2, s. 4]

#### 1.4 Kehittämistehtävän rajaus

Tutkimusprojektin laajuudesta johtuen on kehittämiskohde rajattu kattamaan uuden pilot kokoluokan kaasuttimen sähköistyksen ja automatisoinnin rakentamiseen ja kehittämiseen. Tutkimuskysymyksissä, tavoitteissa ja mittareissa on yksityiskohtaisemmin rajattu aihepiiri. Opinnäytetyössä on myös käsitelty koelaitteen ympärille rakennettua laajempaa tutkimuskokonaisuutta sekä kerrottu mahdollisista tulevaisuuden kehittämishankkeista.

## 2 Tutkimusongelma

Kehittämishankkeessa pyrittiin toteuttamaan kokonaan uusi VTT:n keksintöön perustuva kaasutin, joka soveltuu laajalle polttoainepohjalle sekä soveltuu teknisesti ja taloudellisesti 0.2 – 2 MWe kokoluokkaan.

Metsäteollisuudessa sahoilla ja vaneritehtailla muodostuu paljon tuotannon sivutuotteita ja jätteitä, joilla tuotetaan prosessilämpöä. Sivutuotteita on tyypillisesti ylimäärin ja merkittäviä määriä joudutaan hävittämään polttamalla tai läjittämään kaatopaikalle. Samanaikaisesti tuotannossa käytettävä sähkö joudutaan ostamaan ulkopuolelta. Sivutuotteita polttoaineena käyttävä CHP-laitos alentaisi merkittävästi tuotantokustannusten riippuvuutta markkinasähkön hinnasta ja samalla sivutuotteiden hävittämisestä ei aiheudu kustannuksia. [2, s. 8]

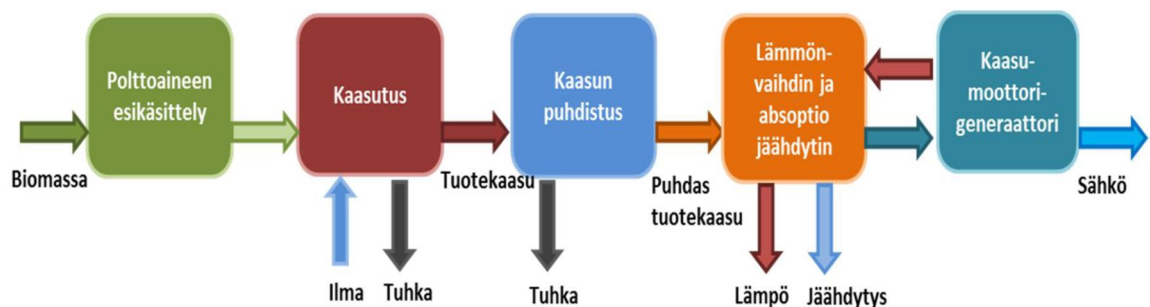
Pienimuotoisen sähköntuotannon rinnalla uudelle teknologialle on nähtävissä houkuttelevia markkinoita myös muissa energiasovelluksissa, kuten öljyn, maakaasun tai neste-kaasun korvaaminen erilaisissa teollisuuden uuneissa, kuivureissa ja esimerkiksi elintarviketeollisuuden sovelluksissa. Etenkin Suomessa raskaan polttoöljyn korvaaminen kaasutuksen tuotekaasulla on uudelle teknologialle potentiaalisin ja nopeasti kaupallistettavissa. [2, s. 8]

CHP-laitosten ohella myös yhdistetty sähkön ja kylmän tuotanto avaa mielenkiintoisia mahdollisuuksia kehitettävälle teknologialle. Näille ratkaisulle on kasvaa tarvetta mm. Japanissa ja Brasiliassa. [2, s. 8]

Uusiutuvien polttoaineiden käyttö energiantuotannossa on kasvava trendi. Tämän seurauksena parantuu biomassapohjaisten yhdistetyn sähkön ja lämmön tuotannon potentiaali ja kilpailukyky Suomessa ja globaalisti. Ratkaisut mahdollistavat uusiutuvien energianlähteiden osuuden kasvun energiantuotannossa ja uusien energiapalveluiden kehittymisen haja-asutusalueille ja edistävät hajautettua energiantuotantoa.

Erytistavoitteena on laajoille vientimarkkinoille soveltuvan bioenergia-alan huipputeknologian kehittäminen ja tarvittavien yhteistyöverkostojen luominen. [2, s. 8]

Uuden CHP teknologian avainkomponentti on innovatiivinen kaasutin, jossa kiinteä biomassaa muuntuu termisesti kaasuksi, joka toimii kaasumootorin polttoaineena. Polttoaineen esikäsittely ja syöttölaitteet ovat yleisesti käytössä olevaa teknologiaa, jolla on lukuisia valmistajia. Samoin kaasun puhdistus, jäähdytys ja kaasumootori-generaattori-paketti ovat koeteltua ja täysin kaupallista teknologiaa. [2, s. 8]



Kuva 3. Kaasutusvoimalan pääkomponentit [2, s. 8]

Uusi CHP teknologia perustuu VTT:n keksintöön KI\_013070, joka esittää uuden kaasutusreaktorin ratkaisun. Uudella kaasutusratkaisulla saavutetaan seuraavat edut tunnettuihin kaasuttimiin nähden:

1. Polttoaineen ja siitä muodostuvan hiilipedin virtaus ei perustu painovoimaan eikä ratkaisussa tarvita kavennusosaa (kurkkua) eikä tervojen hajoamisen kannalta erityisen tasaista hiilipetiä. Tämän johdosta laitteiston polttoainepohja on laaja.

2. Kaasutin on rakenteeltaan uudenlainen myötä- ja vastavirtakaasuttimen yhdistelmä, jossa saavutetaan myötävirtakaasuttimen vähätervainen tuotekaasu ja vastavirtakaasuttimen hyvä hiilikonversio.
3. Uudentyyppisten ilmojen syötön ja katalyyttiratkaisun avulla pyritään tuottamaan tervatonta tuotekaasua matalissa lämpötiloissa. [2, s. 9]

### 2.1 Biomassan kaasutusprosessi

Biomassan kaasutus on termokemiallinen konversioprosessi, jossa hiiltä sisältävä kiinteä tai nestemäinen polttoaine muuttuu kaasuksi. Kaasutusta voidaan kutsua polttoaineen osittaishapetusprosessiksi, jolloin prosessiin syötetyn hapen määrä on pienempi kuin polttoaineen täydellinen palaminen edellyttäisi. Biomassan kaasutuksessa polttoaineena toimii biomassa eli kasviperäinen aines. Taulukossa 1. on esitetty biomassan kaasutuksen pääasialliset kemialliset reaktiot. [4, s. 205]

<u>Reaktio</u>	<u><math>\Delta H_{298}</math>, kJ/mol</u>
Haihtuva aines $\leftrightarrow$ CH <sub>4</sub> +C	Hieman eksoterminen reaktio
C + 0,5 O <sub>2</sub> $\leftrightarrow$ CO	-111
CO + 0,5 O <sub>2</sub> $\leftrightarrow$ CO <sub>2</sub>	-254
H <sub>2</sub> + 0,5 O <sub>2</sub> $\leftrightarrow$ H <sub>2</sub> O	-242
C + H <sub>2</sub> O $\leftrightarrow$ CO + H <sub>2</sub>	131
C + CO <sub>2</sub> $\leftrightarrow$ 2CO	172
C + 2H <sub>2</sub> $\leftrightarrow$ CH <sub>4</sub>	-75
CO + 3H <sub>2</sub> $\leftrightarrow$ CH <sub>4</sub> + H <sub>2</sub> O	-206
CO + H <sub>2</sub> O $\leftrightarrow$ CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub>	-41
CO <sub>2</sub> + 4 H <sub>2</sub> $\leftrightarrow$ CH <sub>4</sub> + 2 H <sub>2</sub> O	-165

Taulukko1. Biomassan kaasutuksen pääasialliset reaktiot ja reaktioentalpiat. [4, s. 214]

Kaasutusprosessi jakautuu kolmeen vaiheeseen päävaiheeseen:

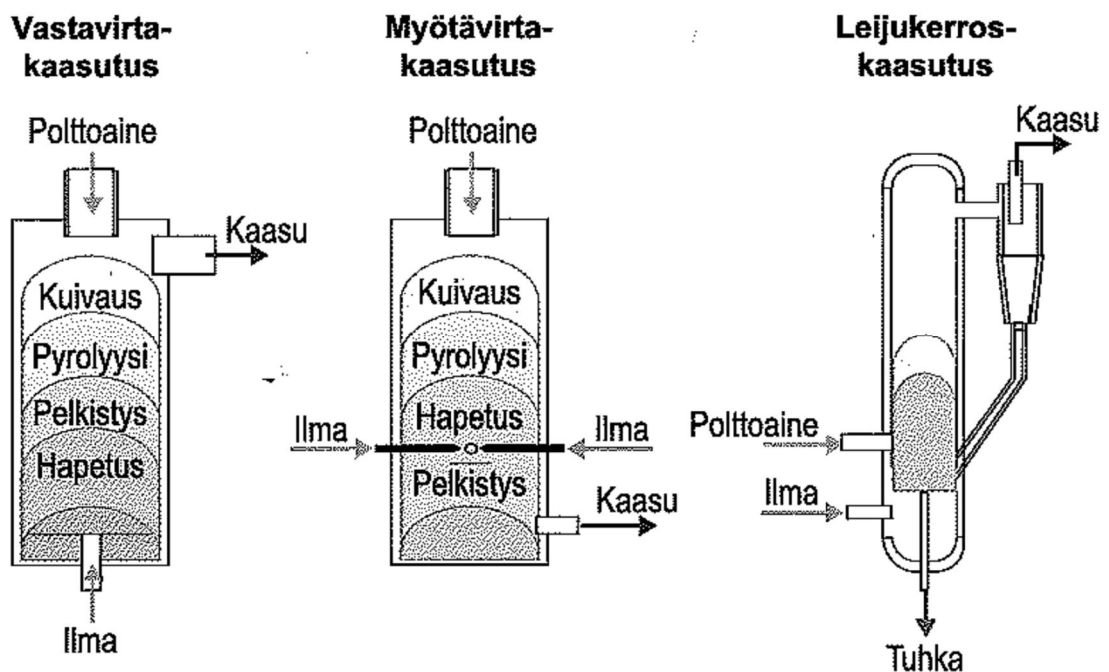
1. Polttoaineen kuivuminen
2. Pyrolyysi
3. Jäännöshiilen kaasuuntuminen ja palaminen

Aluksi polttoaineesta haihtuu kosteus. Seuraavassa vaiheessa kuivunut polttoaine hajoaa hapettomissa olosuhteissa haihtuviksi yhdisteiksi ja kiinteäksi hiileksi. Viimeisessä prosessin vaiheessa polttoaineen jäännöshiili reagoi kaasuttavan aineen sisältämän hapen kanssa korkeassa lämpötilassa. Kaasuttavina aineina toimivat happi, ilma, vesihöyry tai näiden seos. Polttoaineen reagoi hapen kanssa osa hiilestä kaasuuntuu ja osa palaa. Jäännöshiilen palamisreaktiossa syntyvä lämpö ylläpitää prosessin vetyä ja hiili-monoksidia tuottavia reaktioita, jotka ovat vastaavasti endotermisiä reaktioita. Höyrykaasutuksessa kaasutettava aine ei sisällä happea, jolloin kaasutusreaktioissa tarvittava lämpö on tuotava prosessiin muualta. Tällöin puhutaan epäsuorasta lämmöntonnistista erotuksena suorasta lämmöntonnistista, jossa on happea läsnä. [4, s. 216]

Kaasutusprosessissa syntyvää tuotekaasua kutsutaan kaasutuskaasuksi. Kaasutuksen pääkomponentteja ovat hiilimonoksidi, vety, metaani, hiilidioksidi ja typpi. Typeä esiin-tyy lähinnä ilmakaasutusprosesseissa (ilman typpipitoisuus 78%), mutta myös happikaasutuksessa hapen puhtausasteesta riippuen. Näiden lisäksi kaasuseos sisältää vesi-höyryä, pyrolyysituotteina syntyneitä korkeampia hiilivetyjä ja tervoja. Lisäksi kaasussa on kiinteitä hiilipartikkeleita, tuhkaa sekä polttoaineperäisiä epäpuhtauksia. Epäpuhtauksien määrä ja laatu riippuu käytetystä polttoaineesta, kaasutusolosuhteista sekä kaasut-timen rakenteesta. [4, s. 216]

### Soveltuvat kaasuttimet

Puhuttaessa kaasutinreaktoreista voidaan ne jakaa kolmeen päätyyppiin: kiinteäkerros-, leijukerros- ja pölykaasuttimiin [4, s. 218-219]. Kiinteäkerros- ja leijukerroskaasuttimet soveltuvat parhaiten biomassan kaasutukseen. Yleisimmät kiinteäkerroskaasuttimet ovat myötä- ja vastavirtakaasuttimia. Leijukerroskaasuttimista käytetyimmät prosessit ovat: kuplaleijukerroskaasutin ja kiertoleijukerroskaasutin. Eri reaktorityyppien rakenteet on esitetty kuvassa 5. [4, s. 218]



Kuva 4. Biomassan kaasutukseen soveltuvat reaktorityypit. [4, s. 218]

## Kiinteäkerroskaasuttimet

Kiinteäkerroskaasuttimien toiminta perustuu polttoaineen valumiseen painovoiman ansiosta reaktorissa hitaasti alaspäin peräkkäisten vyöhykkeiden läpi. Kiinteäkerroskaasuttimissa polttoaineen viipymäaika on pitkä ja kaasun virtausnopeus pieni. [5, s. 19].

Vastavirtakaasuttimessa kaasutettava aine ja polttoaine virtaavat vastakkaisiin suuntiin; polttoaine syötetään reaktorin yläosaan ja kaasutettava aine (ilma/happi/höyry) johdetaan reaktorin alaosasta arinan kautta. Alaspäin valuva polttoaine reagoi kaasutettavan aineen kanssa ja syntynyt kaasuseos poistuu reaktorin alaosasta. [4, s. 217]

Myötävirtakaasuttimessa polttoaine ja kaasutettava aine virtaavat samaan suuntaan ja kaasutuskaasu poistuu reaktorin alaosasta. Kaasutettavan aineen syöttö reaktoriin tapahtuu reaktorin kehältä. Tämän vuoksi reaktorin hapetus- ja pelkistysvyöhykkeet ovat päinvastaisessa järjestyksessä vastavirtakaasuttimeen verrattuna. Myötävirtakaasuttimesta poistuvan kaasutuskaasun lämpötila on huomattavasti korkeampi kuin vastavirtakaasuttimessa, minkä vuoksi myös hyötysuhde jää alhaisemmaksi. [6, s. 55].

## 2.2 Tutkimuskysymykset

Tutkimuskysymyksien laadinnassa on pyritty määrittämään ja rajaamaan tutkittava kehityskohde projektin tutkimuslaitteen sähköistyksen, automaation ja prosessimittauksien kehittämiseen. Kehittämistyön ulkopuolelle on myös rajattu osa prosessisyötteiden mittaustuksista. Tämä kokonaisuus on yhteiskäytössä toisen koelaitteen kanssa. Tämä on mahdollista, koska laitteita ei käytetä samanaikaisesti ja näin ollen saadaan merkittäviä kustannussäästöjä koelaitteiden rakentamisessa.

- Mitä tutkitaan ja mitä tutkimuksella halutaan saavuttaa?
- Kuinka rakennusprojekti saadaan pidettyä sovitussa aikataulussa?
- Koelaitteen rakentamisprojektin raportoinnin ja kokouskäytäntöjen toimivuus?
- Mitä vanhoja ja käytössä olevia mittausmenetelmiä pystytään hyödyntämään koelaitteen rakentamisessa?
- Uusien mittausmenetelmien kartoittaminen ja soveltaminen?
- Laitoksen hätä-seis-toimintojen tarkastelu?
- IO testauksen kehittäminen?



### 2.3 Kehittämistehtävän tavoitteet ja mittarit

Opinnäytetyön tavoitteena oli koelaitteen prosessimittauksien ja sähköistyksen toteuttaminen. Lisäksi toimintaa pyrittiin arvioimaan ja samalla miettimään kehittämiskohteita seuraavien pilot kokoluokan koelaitteiden rakentamiseen.

#### Tavoitteet

- Pyrkii toteuttamaan pilot kokoluokan tutkimuslaitteen sähköistys ja automatisointi
- Selvittää kriittisimpien mittausten/toimintojen toteutus
- Luoda järjestelmä, jolla pystytään toteuttamaan koeajot turvallisesti ja kustannustehokkaasti
- Luoda järjestelmä, jolla voidaan toteuttaa uuden CHP teknologian kehitystyötä tukeva pilot kokoluokan koelaitte, joka tukee demonstraatiolaitoksen rakentamista

#### Mittarit

- Tärkein mittari on onnistuneen koelaitteen rakentaminen CHP kehitysprojektiin
- Projektin aikatauluissa pysyminen, jonka määrittelee CHP kehitysprojekti
- Talous (budjetissa pysyminen)
- Uuden prosessin todentaminen ja prosessin kehittäminen

## 3 Teoreettinen viitekehys

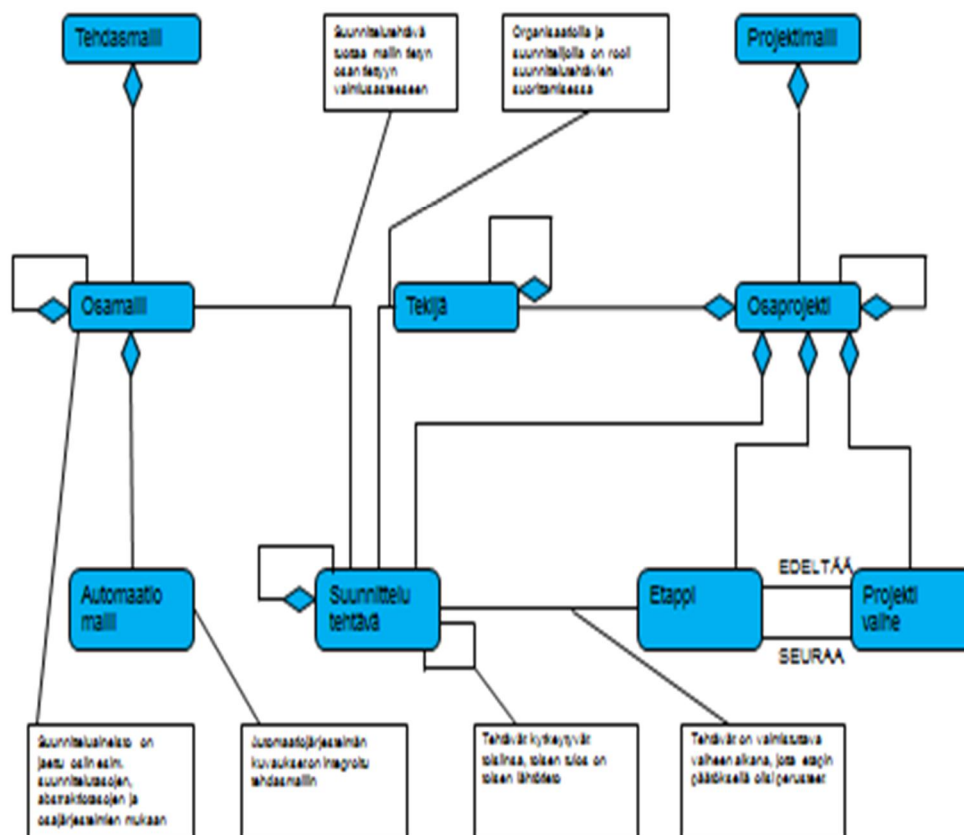
Prosessisuunnittelu käynnistää kemiallisten ja fysikaalisten toimintojen sarjan, jossa määritellään prosessin käyttöolosuhteet, kaikkien prosessilaitteiden tehtävät, komponenttien materiaalivalinnat ja prosessin tarvittavat apulaitteet. Prosessin asianmukaisen toiminnan varmistamiseksi tarvitaan lisäksi laitesijoittelu sekä tärkeimmät koneet ja laitteet prosessin toteuttamiseen. Prosessisuunnitelmaan kootaan tiivistettynä virtauskaavio, aine- ja energiataseiden laskenta sekä yksittäisten prosessien toimintavaiheet. Prosessisuunnittelun eri osioita käytetään eri tarkoituksiin, kuten alustavien kustannuksien laskentaan, tarjouslaskentaan ja kannattavuuslaskelmiin. Tämän pohjalta voidaan käynnistää mahdollisia jatkoselvityksiä, mikäli nämä koetaan tarpeelliseksi ennen lopullisten päätösten tekemistä. [7, s. 1]

Suomea on totuttu pitämään automaatiotekniikan edelläkävijänä. Automaation teorian ja tekniikan soveltaminen kotimaan projekteissa ei enää riitä, vaan on pystyttävä vastaamaan kilpailuun ja kysyntään globaaleilla markkinoilla. Markkinat kotimaassa ovat usealla automaation alalla liian pienet sekä avoinna myös kansainväliselle kilpailulle. Pärjätäkseen kilpailussa on pystyttävä toimimaan kansainvälisillä markkinoilla. Suunnittelu kytkeytyy prosessilaitosten ja tehtaiden kokonaistoimituksiin, automaatiota ei juurikaan myydä yksittäisenä tuotteena. Tuotantokoneiden ja -järjestelmien osana olevat ohjausjärjestelmät ovat kuitenkin Suomessa kehitettyjä. Automaatio sisältyy insinööritoimistojen suunnittelu- ja projektointipalveluihin. Automaatiojärjestelmät ovat huomattavassa osassa toteutettaessa tehtaiden käyttöön ja ylläpitoon liittyviä palveluita. Uusien ja vaativampien automaatiosovellusten toteuttamiseen tarvitaan asiantuntevaa ja monialaista osaamista. Automaatioprojekti tulee pystyä hahmottamaan yksittäisestä suunnittelutehtävästä koko ison projektin tavoitteisiin, kokonaisuutena kenttälaitteesta toiminnanohjaukseen, unohtamatta yhteistyötä eri sidosryhmien kanssa. Suunnittelijoilla tulee olla hyvä teoriaosaaminen, että muuttuva tekniikka sekä uusien prosessien ohjaus olisi mahdollista hallita. Globaalia toimintaa ajatellen kielitaito ja kulttuurien tuntemus on hyödyksi. Kyky tehokkaiden käytäntöjen soveltamiseen projektissa auttaa pysymään mukana tiukoissa aikatauluissa, turvallisuusvaatimuksissa ja taloudellisissa raameissa. Suunnitteluprosessien tulee olla hyvin suunniteltuja ja yhdenmukaisia yritysten sisällä sekä niiden välillä. Konkreettisen tekniikan ohella tulee kehittää niin alan koulutusta kuin myös projektitoiminnan yleisiä periaatteita, menetelmiä ja käytänteitä. Ohjelmistotuotannon kehitys on ollut samankaltainen automaation kanssa. Teollisuuden sovelluksilla on kuitenkin omanlaisia piirteitä, esimerkiksi niillä on oltava pitkä käyttöikä ja korkea käytettävyyssvaatimus, jolloin ohjelmistotuotannon osaamista ei pystytä suoraan hyödyntämään. Automaatiosovellusten suunnittelua sekä siihen liittyvää yhteistyötä eri toimijoiden välillä ei ole juurikaan tutkittu ja kehitetty. Projektit toteutetaan samojen ajatusmallien mukaisesti, tekniikkälähtöisesti, tehostamalla toimintaa yrityksen sisällä. Kun yhteisiä toimintatapoja ei etsitä on vaara, ettei automaatiosovellusten toteuttamistavat kehity. [8, s.4-5]

Suunnitteluinformaation hallinta ja tiedonkulku verkottuneessa suunnittelussa ovat tärkeä osa nykyaikaista suunnitteluprosessia. Monimutkaisten kokonaisuuksien ymmärtämisessä käytetään hyödyksi vanhaa hajota ja hallitse -periaatetta. Suunnittelun kohteena oleva tehdas ja automaatiojärjestelmä pilkotaan selkeisiin kokonaisuuksiin asiakasvaatimuksista tuotevalintoihin ja toteutuksiin. Suunnittelualat pidetään erillään kuitenkin liittäen ne toisiinsa. Projektimallista eli suunnitteluprosessista irrotetaan varsinainen

suunnittelukohde, kuten tehdasmalli ja automaatio sen osana. Projektimalli ja suunnittelukohde saadaan nivottua yhteen määrittelemällä suunnittelun osatehtävät suunnittelukohteen rakenteen perusteella. Tarvittava tiedonvaihdon ja yhteistyön määrä riippuu suunnittelukohteen loogisista riippuvuuksista sekä miten suunnittelutehtävät on jaettu suunnittelijoiden kesken. Näillä suunnitteluperiaatteilla mennään kohti suunnittelutietokantoja hyödyntävää tietosisältöpohjaista suunnittelutapaa. Perinteinen suunnittelu pohjautuu dokumentteihin. Koska automaatioprojektit käytännössä vaihtelevat, määräytyy suunnittelutarpeet sovellusalan tarpeiden mukaan. Suunnitteluprosessin kuvaus rajataan muutamaa yleiseen periaatteeseen, koska tarkka kuvaus olisi liian laaja ja vaikeaselkoinen. Yleisten periaatteiden pohjalta yritys voi kehittää omiin tarkoituksiin sopivat, selkeät ja tarpeeksi tarkat toimintamallit. Tapa jakaa suunnittelu osatehtäviin voisi olla yleisen automaatioprojektin vertailumallin perusteena. Laajasti määritellyt käsitteet ja periaatteet olisi hyödyllistä rajata paremmin, tämä hyödyntäisi niin alan opiskelijoita kuin myös työelämän automaatiosuunnittelijoita. [8, s.4-5]

Kuvassa 5 selvennetään sovellettua ajattelua käsitekaavion avulla. Kaaviossa tehdasmalli on jaettu osamalleihin, joista yksi kuvaa automaatiojärjestelmää. Samankaltainen jako on mahdollista tehdä myös projektimallille. Se voidaan jakaa pienemmiksi projektin osiksi, jotka koostuvat suunnittelutehtävistä, niiden resursseista sekä vaiheista ja vaiheiden välisistä etapeista. [8, s.36]



Kuva 5. Suunnittelun käsitteitä olioluokkakaavion muodossa. [8, s. 36]

Seuraavassa on selitetty tässä yhteydessä tärkeitä käsitteitä:

### Projektimalli

Järjestelmän, tietyn tehtaan tai automaatiojärjestelmän, malli kuvaa itse järjestelmää tai sen käyttöprosessia. Projektimalli taas kuvaa suunnittelu- ja rakentamisprosessia. Järjestelmä syntyy tämän seurauksena. Projektimallissa keskeistä on määritellä projektin suunnittelutehtävien sisältö, aikataulu ja tarvittavat resurssit, suunnitteluorganisaatio vaatimuksineen, tehtävien ja vastuiden jako, tarvittavat työkalut ja menettelytavat (laatu, versiointi, dokumenttien jakelu jne.) sekä toimitilajärjestelyt. Myös projektin kaupalliset ja sopimustekniset faktat voidaan nähdä projektimallin osana. Laajat hankkeet voi pilkkoa osaprojekteihin, esimerkiksi tehdasmallin jäsenystä mukaillen. Suunniteltavan järjestel-

män malli täydentyy kokemustiedolla käytön aikana. Projektimallissa esitetyt suunnitelmat täydentyvät toteumatiedoilla, kuten tehtävien valmiusasteella, kokospöytäkirjojen perusteella, raporteilla edistymisestä jne. Projektimalli liittyy suunnittelun kohteen malliin, esimerkiksi suunnittelutehtävän tavoitteena on tuottaa tietty osa tai tietyt osat järjestelmän mallista. [8, s.36]

#### Suunnittelutehtävä

Sisällöllisesti mielekäs suunnittelukokonaisuus, joka tuottaa tai tarkentaa suunniteltavan järjestelmän mallia tai projektimallia tietyiltä osin tietyssä projektin vaiheessa. Suunnittelutehtävä voidaan jakaa yhdelle tai useammalle tekijälle, suunnitteluresurssille. Lähtötietoina käytetään muiden tehtävien tuloksia ja tuotetaan tietoa seuraaville tehtäville. Suunnittelutehtävän tulee valmistua tai vähintäänkin tuottaa tietyn tasoiset tiedot määrättyyn ajankohtaan mennessä, että päätöksiä voidaan tehdä. Tehtävän edistyminen ei välttämättä ole tärkeä jonkin aikaisemman etapin kannalta. Suunnittelutehtävä voi siis ulottua useammankin projektivaiheen yli. [8, s.36-37]

#### Tehdasmalli

Tehdasmalli voidaan yleisellä tasolla määrittellä miksi tahansa tietojoukoksi, joka kuvastaa tarkasteltavaa prosessilaitosta kokonaisuutena, huomioiden eri näkökulmat. Usein tietosisältö on rajattu koskemaan vain esimerkiksi prosessilaitteistoa, mutta tässä termin merkitys on laajempi. Tehdasmalli sisältää kaiken tehdasta koskevan informaation, toiminnot ja suunnitteluperusteet. Mallin esitysmuoto voi vaihdella. Kuvaukset voivat olla perinteisesti paperilla tai sähköisiä dokumentteja dokumenttipankissa. Nykyisin tehdasmallilla viitataan prosessilaitteiston ja rakenteiden digitaaliseen, usein kolmiulotteiseen, esitysmuotoon. Siinä sovelletaan standardien määritelmiä sekä suunnittelujärjestelmien sisäisiä tietomalleja. [8, s.37]

#### Tietomalli

Tietomallin avulla määritellään käsitteet, ominaisuudet ja riippuvuudet, joiden avulla tietyn sovellusalueen järjestelmiä voidaan kuvata tarkasti. Tietyn tehtaan tehdasmalli soveltaa yhtä tai useampaa tietomallia siihen sisältyvän informaation hallintaan. [8, s.37]

#### Tietopaketti

Tietopaketti on tietojoukko, joka toimii lähtötietoina seuraavaan tai seuraaviin suunnittelutehtäviin. Tietopaketti siirretään usein toiselle suunnittelijalle ja toiseen organisaatioon.

Reaaliajassa informaatio voi liikkua pieninä paloina. Usean osapuolen hankkeissa työn- ja vastuukysymysten vuoksi välituloksia julkaistaan isompina kokonaisuuksina. Tietopaketti on siis tarpeiden mukainen otos järjestelmän mallista, suunnittelutietokannasta, sisältäen tietoa yhdestä tai useammasta tietokannan osasta. Käytännössä tietopaketti voidaan siirtää vaikka dokumenttina tai yhteisessä tietokannassa päivityksenä (ilmoitus käytettävissä olevasta tiedosta). [8, s.37]

### 3.1 Kaasuanalyysi mittaukset

Nykyaikainen prosessinohjaus vaatii paljon mittauksia (koostumus, lämpötila, paine, virtaus, pitoisuudet jne.), jotta pystymme tuottamaan haluttuja tuotteita. Uudet hajautetut ohjausjärjestelmät jotka liittyvät erilaisiin ohjauseliimiin (venttiilit, pumput jne.) vaativat tietoja paljon useammin kuin manuaaliset ohjausjärjestelmät. Näytteiden kerääminen nykyaikaiseen laboratorioon on tärkeä osa laadunvalvontaa, mutta vaatii ponnisteluja ja aikaa. Näytteiden analysointi ja tuloksien siirtäminen prosessien ohjausjärjestelmään vie oman aikansa ja yleensä häiriötilanteiden kohdalla tulokset tulevat aina liian myöhään, joka vastaavasti voi lisätä huomattavasti kustannuksia muun muassa prosessituotannossa ja energian kulutuksessa. Monille teollisuudenaloille ratkaisu on siirtää analyysi suoraan prosessiin. Tämä on luonut tarpeen kehittää enemmän ja parempia analyysiaattoreita. Jotta analyysiaattorijärjestelmä pystyy täyttämään odotuksensa, on suunnittelun ja arvioinnin oltava tehtynä ennen ostopäätöksen. Käyttäjien on ymmärrettävä miksi kallis analyysiaattori kannattaa investoida. Käyttäjien hyväksyntä riippuu suurelta osin koulutuksesta, jossa perehtyminen on ratkaisevan tärkeää. Uudet automaattisesti testaavat ja kalibroivat analyysiaattorit ovat tärkeä panos parempaan prosessinopeointiin, mutta käyttäjien on kuitenkin ratkaistava tuloksien perusteella ongelmat mitä prosessinohjaukseen tulee. Tämä puolestaan tuo vastaavasti kustannussäästöjä, joilla pystytään perustelemaan kalliiden prosessianalyysiaattoreiden hankinta. [9, s. 1144-1145]

Monet kysymykset on otettava huomioon ennen hankintapäätöksen tekemistä. Ennen analyysisovelluksen hankintaa on oltava selkeä käsitys siitä miksi analyysiaattoria tarvitaan, mitä tietoa tarvitaan ja mitä tiedoilla tehdään. Lisäksi analyysiongelman on oltava selkeästi määritelty ja ymmärretty. Liian moni analysointisovellus on epäonnistunut, koska tarvittava analyysimenetelmä ei ole soveltuva kyseiseen prosessiin.

Seuraavassa on esitelty vaiheet asianmukaisen analysaattorin valitsemiseen prosessiin:

1. Ongelman määrittely
2. Tiedonkeruu (ongelman kokonaisvaltainen ymmärtäminen)
3. Analysaattorin valinta (analyysitarkkuus, kalibrointitarkkuus, analyysitaajuus jne.)
4. Näytteenotto
5. Analysaattorin sijainti prosessissa
6. Tietojen käsittely
7. Ylläpitokysymykset
8. Kokonaiskustannukset: laitteisto, asennus, ylläpito jne. Ei ole harvinaista, että pääset askel askeleelta eteenpäin, mutta joudut palaamaan taaksepäin varmistaksesi, että asianmukainen analysaattori hankinta pystytään perusteellamaan. Vääränlaisen analysaattorin valinta tai laittamalla se väärään paikkaan prosessissa ei ratkaise ongelmaa, eikä säästää rahaa tai paranna laatua.

Ongelman määrittelyn pohjana on usein prosessissa havaittu ongelma, jonka selvittämiseen tarvitaan lisätietoja prosessin tapahtumista. Prosessimittauksia kartoittaessa tulee esille useita kysymyksiä:

- Käytetäänkö mittauksia prosessinohjaukseen vai pelkkänä mittatietona?
- Prosessin vasteaika mittauksille?
- Tarvitaanko on-line mittaus mikäli kysymyksessä ei ole kriittinen prosessitoiminta vai riittääkö at-line mittaus? Määrittelyt on-line ja at-line
- Mittamenetelmän valinta, jotta saamme luottavan ja toistettavan analyysituloksen?
- Onko mittaukset perusteltuja ja hyödyllisiä prosessinkehityksen kannalta?
- Saavutetaanko hankinnalla kustannussäästöjä?
- Henkilökunnan tarve kehityshankkeessa?
- Henkilöstötarpeiden uudelleen määrittely toteutuksen jälkeen sekä koulutus?

Nämä kysymykset on tarpeen selvittää, jotta hanke saadaan toteutettua onnistuneesti ja tavoitteet on selkeästi määriteltä sekä kaikkien osapuolien tiedossa. [9, s. 1144-1145]

### 3.2 Lämpötila mittaukset

Lämpötila on fysiikassa ja myös teollisuudessa erittäin tärkeä mitattava suure. Siitä riippuu materiaalin olomuoto, miten kemialliset reaktiot tapahtuvat, kuinka paljon materiaalissa on sisäistä energiaa jne. Lämpötilan SI-yksikkö on kelvin (K). Yhden kelvinin lämpötilaero on yhtä suuri kuin celsiusaste (°C).

On useita fysikaalisia ominaisuuksia, joiden avulla lämpötilaa voidaan mitata. Ensimmäiset lämpötilamittarit perustuivat nesteen lämpölaajenemiseen. Myös höyryn ja kaasun lämpölaajenemisen perustavia mittauksia käytetään lämpötilan määrittämiseen. Bimetallimittarissa on kaksi eri lämpölaajenemiskertoimen omaavaa metalliliusketta liitetty yhteen. Lämpötilan muutos aiheuttaa liuskaan ja siihen kiinnitetyn osoittimen kiertymistä, jolla lämpötila pystytään määrittämään. Lämpötilan muutos aiheuttaa useissa aineissa äänen etenemisnopeuteen, joten lämpötila voidaan saada myös mittaamalla äänen nopeus tietyssä materiaalissa. Määrätyllä tavalla leikatun kvartsikiteen värähtelytaajuus on melko lineaarisesti verrannollinen kiteen lämpötilaan, joten kiteitä voidaan käyttää lämpötila-anturina.

Kaikkien aineiden sähkönjohtavuus muuttuu jonkin verran lämpötilan muuttuessa. Kun tunnetaan aineen lämpötilariippuvuus, voidaan lämpötilaero saada selville anturin resistanssi mittauksella. Puolijohteen myötäsuuntaisen liitoksen yli oleva jännite on riippuvainen lämpötilasta liitoksen lämpötila-antureissa ja ominaisuutta käytetään useissa puolijohdepohjaisissa lämpötila-antureissa. Resistanssissa syntyvä termien kohinajännite kasvaa lämpötilan noustessa, mikä on otettava huomioon mittauksessa.

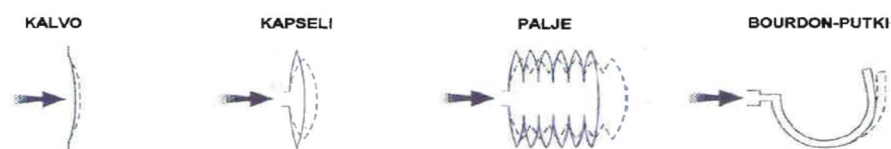
Kaikesta materiaalista lähtee sähkömagneettista säteilyä, jonka voimakkuus- ja aallonpituusjakauma riippuu lämpötilasta ja säteilevän pinnan laadusta. Säteilymittareilla eli pyrometreilla mitataan aineen lämpösäteilyä, jonka perusteella lämpötila määritetään. [10. s. 85-57].



Termopari muodostuu kuumaan liitoskohtaan, kun hitsataan toisesta päästä yhteen kaksi eri metallia tai metalliseoksesta valmistettua lankaa (termolankaa). Lankojen vaipaiksi jäävät päät muodostavat vertailupisteen (vertailuliitoskohdan). Termoelementissä syntyy lämpösähkömotorinen voima (mv -jännite), mikäli hitsauskohdan ja vertailupisteen lämpötiloissa on ero. Lämpösähkömotorisen voiman suuruus on verrannollinen syntyneeseen eroon lämpötiloissa sekä termoparissa käytettyihin materiaaleihin. Vertailuliitoskohta on pyrittävä pitämään vakio-olosuhteissa. Näin virhe resistiivisyyden mittaauksessa pysyy mahdollisimman pienenä. Koska näin syntyneessä virtapiirissä kulkee virta ja syntyy jännitehäviö, on mittarin kalibrointi tavallisesti tehty mittausspiirin ulkoisella vastuksella. Ulkoisen piirin ns. linjavastuksen viritys mittarille kullakin eri mittausetäisyydellä tapahtuu ns. säädettävällä sovitusvastuksella. [11, s. 37]

### 3.3 Paine/paine-ero mittaukset

Paineenmittauslaite voi perustua mekaaniseen muodonmuutokseen. Tällöin mittauslaitteen tuntopää liikkuu, kun paine vaikuttaa siihen. Toimivan ja käyttökelpoisen mittauslaitteen saamiseksi tuntopään liikkeen eli muodonmuutoksen on oltava riittävän pieni, että se pysyy materiaalin ominaisuuksien osalta sopivalla mittausalueella. Kuitenkin muutoksen on oltava niin suuri, että se pystytään havaitsemaan riittäväällä tarkkuudella, jonka määrittelee prosessissa mitattava painealue. Matalille paineille tarkoitetuissa mittalaitteissa käytetään ohuita, joustavia komponentteja. Suuria paineita mitattaessa käytetään mittauslaitteissa paksumpia ja jäykempiä komponentteja. [13, s. 16]



Kuva 6. Paineen aiheuttama muutos mittarin tuntoelimestä. [13, s. 16]

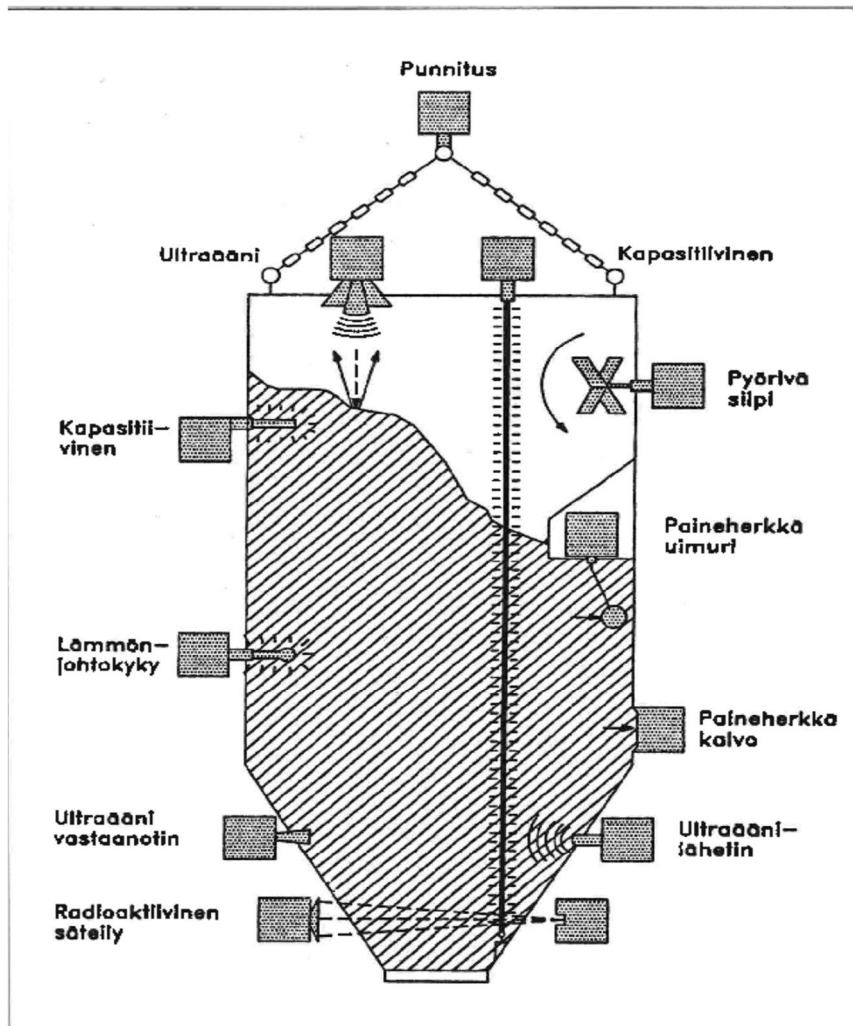
Mittauslaitteiston tuntopäässä aiheutuvaa siirtymää eli muutosta voidaan havainnoida useilla erilaisilla tekniikoilla riippuen laitteen tyypistä. Muunnettaessa paineesta riippuvaa muodonmuutosta paineeksi voidaan hyödyntää mekaanista tai sähköistä vahvistusta. Tai muunnokseen voidaan käyttää vastuksen, kapasitanssin, värähtelytaajuuden tms.

riippuvuutta muodonmuutoksesta. Alueilla (hyvin pienet absoluuttipaineet), joissa paineen aiheuttamat muodonmuutokset ovat liian pieniä mitattaviksi, voidaan käyttää epäsuoria menetelmiä, jotka perustuvat kaasujen ominaisuuksiin. [13, s. 16]

Älykkäät paine/paine-ero anturit soveltuvat kaasujen, höyryjen ja nesteiden paineen, alipaineen ja absoluuttisen paineen mittaamiseen. Aktiivinen tunnistuselementti on piezoresistiivinen silikonisensori, joka erottuu väliaineesta kalvolla. Mittareiden kotelo on valmistettu alumiiniseoksesta tai teräksestä 316SS. [12, s. 2]

### 3.4 Pintarajojen mittaukset

Kiinteiden ja nestemäisten aineiden pinnanvalvonta voi tapahtua monella eri menetelmällä. Pinnankorkeuden mittausta käytetään yleisimmin säiliössä olevan ainemäärän korkeuden mittaamiseen ja säätämiseen. Pinnankorkeuden mittausta voidaan käyttää myös materiaalin tilavuuden tai painon määrittämiseen. Tällöin on tunnettava materiaalin tiheys ja säiliön mitat. Mittausmenetelmän valintaan vaikuttavat mittatavan materiaalin fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet sekä prosessin olosuhteet (paine ja lämpötila). [14, s. 89]



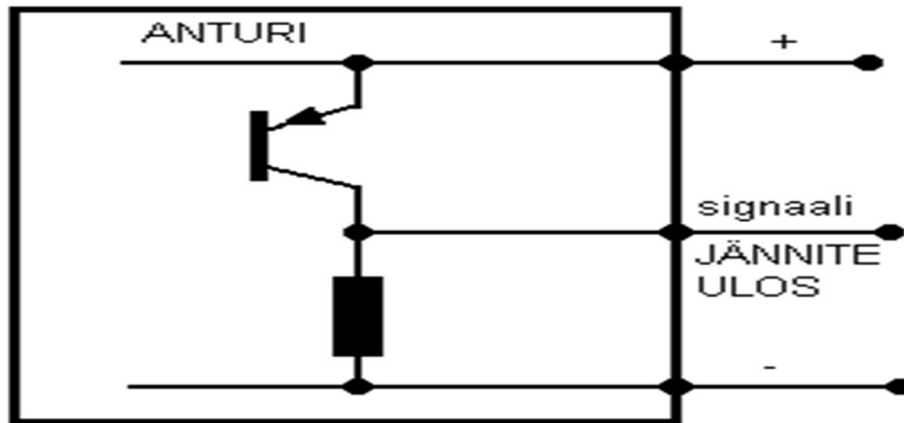
Kuva 7. Kiinteiden aineiden pinnankorkeuden mittaamenetelmiä. [14, s. 105]

### 3.5 Pyörintävahdit

Pyörimisnopeuden mittauksissa käytetään usein tuntoelimiä, jotka perustuvat suurelta osin pyörivän kappaleen aseman havainnointiin. Anturi on mittalaitteen osa, joka muuttaa mitattavan suureen verrannolliseksi sähköiseksi tai pneumaattiseksi viestiksi. Useimmiten tietoa tarvitaan prosessin lämpötilasta, kappaleen sijainnista, liike- tai pyörimisnopeudesta.

PNP-tyyppinen anturi:

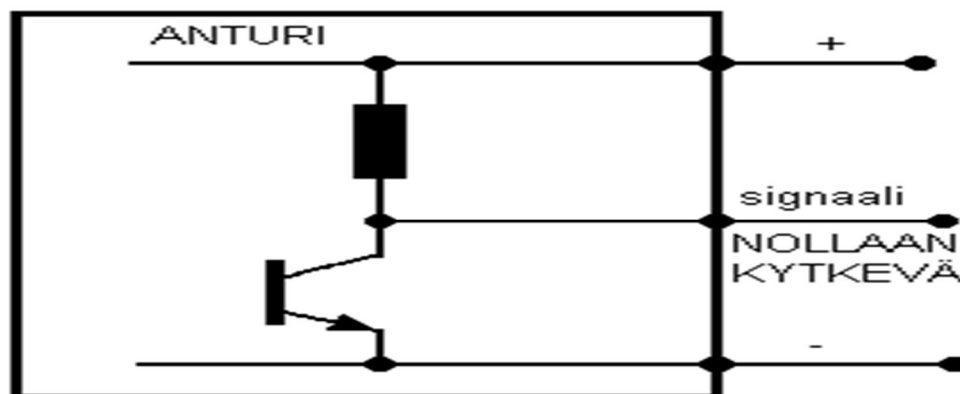
PNP-kytketty anturi antaa signaalijohtimeen jännitteen (anturin käyttöjännitteen) anturin tuntiessa. Alla olevassa kuvassa on esitetty PNP-anturin kytkentä periaatteellisella tasolla. [15]



Kuva 8. PNP-tyyppisen anturin kytkentä [15]

NPN-tyyppinen anturi:

NPN-kytketty anturi suorittaa signaalijohtimeen kytkeytymisen anturin nollassa anturin tuntiessa. Alla olevassa kuvassa on esitetty NPN-anturin kytkentä periaatteellisella tasolla. [15]



Kuva 9. NPN-tyyppisen anturin kytkentä [15]

Induktiivinen lähestymiskytkin on eniten käytetty lähestymiskytkin. Induktiivinen lähestymiskytkin tunnistaa vain metalleja. Metallin lähestyessä anturin tuntopään magneettikenttä vaimenee, jonka seurauksena kelan virta pienenee ja anturin elektroniikka muuttaa virtamuutoksen on/off- tiedoksi. Tuntoetäisyydet vaihtelevat 0,5 mm:stä aina 150 mm:iin saakka, tyypillisin arvo on 2-5 mm. Mitä suurempi anturin tuntopinta on, sitä suurempi on tuntoetäisyys. Varsinainen elektroniikka on valettu epoksihohjaiseen massaan. KytKentätaajuuden yläraja vaihtelee 10-5000 Hz anturityypin mukaan. Induktiivisia lähestymiskytkimiä käytetään teollisuussovelluksissa, kuten työstökoneissa, kuljettimissa, pakkauskoneissa, sylintereiden päätyasentojen tunnistamisessa, roboteissa jne.

Kapasitiivinen lähestymiskytkin reagoi lähes kaikkiin materiaaleihin. Anturi kehittää ympärilleen sähkökentän, joka heikkenee esineen lähestyessä anturin tuntopäätä. Anturin runko ja tuntopää muodostavat yhdessä kondensaattorin, jossa ilma toimii eristeenä. Esineen lähestyessä anturia kondensaattorin kapasitanssi ja anturin sisällä olevan oskillaattorin taajuus muuttuvat. Vahvistimen lähettämä signaali on on/off -tyyppiä. Kapasitiivisen anturin tuntoetäisyys on toisin kuin induktiivisen anturin kohdalla asteltavissa.

Anturityypin mukaan kytkentätaajuuden yläraja vaihtelee 10-1500 Hz. Kapasitiivisia antureita käytetään samaan tapaan kuin induktiivisia antureita silloin, kun tunnistettava aine tai kappale ei ole metallia.

Kapasitiivisilla lähestymiskytkimillä tunnustellaan aineita myös toisen aineen lävitse. Tällöin tunnistettavan aineen permittiivisyyden täytyy olla suurempi kuin väliaineen. Kapasitiivisen anturin käytössä on otettava huomioon sen induktiivista anturia suurempi herkkyys ulkoisille häiriötekijöille.

Optisissa antureissa käytetään lähettimenä valonlähdettä, näkyvää valoa tai infrapuna-valoa lähettävää diodia. Säteen moduloinnin ansiosta anturin optiikan likaantumisen vaikutus on saatu pieneksi. Moduloinnilla tarkoitetaan säteen katkomista alle 10 kHz:n taajuudella, jolloin vastaanotin reagoi vain lähetintaajuisiin valopulsseihin. Näin tausta-valo häiritsee mahdollisimman vähän. Optisten kytkinten herkkyyttä voidaan yleensä asetella säätöruuvista. KytKentätaajuuden maksimi vaihtelee 25-10 000 Hz anturityypin mukaan. [15]

### 3.6 Turvallisuus ja valvontajärjestelmät

Vuoden 1995 tammikuusta lähtien kaikkien Euroopan talousalueella markkinoille saatettujen koneiden on täytynyt noudattaa konedirektiivin olennaisia vaatimuksia. Direktiivin mukaisesti kone on komponenteista yhdistetyn osan kokoonpano, joista ainakin yksi osa liikkuu asianmukaisten toimilaitteiden, ohjaus- ja virtapiirien kanssa yhdistetynä johonkin tiettyyn sovellukseen. Uuden konedirektiivin version 2006/42/EY 2. muutos soveltamisala ei koske pelkästään koneita vaan myös turvakomponentteja, joiden käytöstä saattaa aiheutua turvallisuus tai terveystarve.

Kone- ja turvakomponenttien konedirektiivin olennaiset vaatimukset on esitetty erillisessä direktiivissä. Turvallisuuden integrointia koskevien yleisten periaatteiden lisäksi direktiivissä on omat kohdat, jotka koskevat koneiden ohjausta ja suojauslaitteisiin asetettuja vaatimuksia. Koneiden ja turvakomponenttien suunnittelussa käytettävät olennaiset turvallisuusvaatimukset velvoittavat valmistajan tekemään arvioinnin, jotta voidaan tunnistaa koneeseen liittyvät vaarat. Kolme periaatetta, joiden mukaan kunkin vaaran aiheuttamat onnettomuusriskit vähennetään hyväksyttävälle tasolle:

- Riskien poistaminen tai vähentäminen luontaisesti turvallisella suunnittelulla
- Tarvittavien toimenpiteiden toteuttaminen sellaisten riskien suojaamiseksi, joita ei voida poistaa
- Jäljelle jäävien riskien tiedottaminen käyttäjille

[16, s. 15-16]

Automaatiojärjestelmien nopeuden, laajuuden ja monimutkaisuuden lisääntyessä koneiden turvallisuus on enenemässä määrin riippuvainen ohjausjärjestelmistä. Viat ohjausjärjestelmissä johtavat usein turvatoimintojen menettämiseen, odottamattomiin käynnistymisiin tai väärään toimintaan ja sitä kautta tapaturmiin ja muihin vahinkoihin. Ihmiset luottavat turvalaitteisiin ja turvallisiin piirirakenteisiin, jonka takia vikaantumiset tulevat usein yllättäen ja seurauksena on usein vaarallisiakin tilanteita. Tämän takia on varmistuttava siitä että vikatilanteissakaan laitteet eivät toimi niin että vaaratilanteet olisi mahdollisia.

Turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmät on jaettu kolmeen ryhmään käyttötarpeen mukaan.

- Estoihin ja lukituksiin liittyvät turvatoiminnot, joilla estetään vaaralliset toiminnot lukitusten ollessa voimassa. Tähän ryhmään liittyviä esimerkkejä löytyy lähes jokaisesta järjestelmästä. Esimerkkinä voisi mainita valoverholta tulevan viestin, jonka perusteella kone ei lähde käyntiin tai vastaavasti pysähtyy, koska koneen liike saattaa aiheuttaa vaaratilanteen käyttäjälle.
- Toisessa ryhmässä koneenkäyttäjän vastuuta on siirretty automaatiojärjestelmälle laitteen nopeuden tai monimutkaisten syy- ja seuraussuhteiden vuoksi. Manuaalisissa koneissa turvallisuus perustuu usein ihmisen toimintaan ja valvontaan. Järjestelmien tullessa yhä monimutkaisemmiksi ja nopeammiksi ei valvontaa voi jättää pelkästään käyttäjän varaan. Vaaralliset toiminnot pitää pystyä pysäyttämään ennen vahingon tapahtumista automaattisesti ja nopeasti. Esimerkkinä voisi mainita henkilönostimet, jotka pysyvät pystyssä ohjausjärjestelmän ja kuormituksen valvontajärjestelmän ansiosta. Ilman järjestelmää käyttäjä voisi vahingossa ohjata laitteen epästabiliin tilaan ja näin ollen aiheuttaa vaaratilanteen.
- Kolmannessa ryhmässä ohjausjärjestelmillä pyritään vähentämään kalliita, hitaita ja raskaita rakenteita. Esimerkkinä voisi mainita putkistojen paineenvalvontajärjestelmä, jonka seurauksena putkistojen materiaalivahvuudesta on pystytty tinkimään. Tämän seurauksena rakentamiskustannuksissa on saatu merkittävästi pienennettyä.

Tyypillisiä turvatoimintoja:

Päälle/pois toiminnot	- käynnistyminen, pysäyttäminen, häätäpysäyttäminen, virran katkaisu, jarruttaminen, venttiilin sulku/avaus ja jne.
Prosessisuureen valvonta	- lämpötilan, paineen, nopeuden ja jne. valvonta - liikealueen rajan tunnistaminen
Laskennallinen suure	- kuormituksen, vakauden, tms. valvonta - turvallisen toiminnan looginen valvonta - työkalupisteen nopeuden valvonta
Turvallisuuteen liittyvät säädöt ja ohjaukset	- nopeuden tai kiihtyvyyden säätö - liikkeen tai liikeradan ohjaus/valvonta - virtauksen/paineen säätö - työkalun kiinnittäminen/valvonta

Konepäättöksen mukaan ohjauspiirin logiikkavirheistä häiriötoiminnasta ei saa aiheutua vaaratilanteita. Tämä vaatimus on mahdollista tulkita yksiselitteisesti ja tiukasti, mutta eri standardeissa on käsitelty asiaa hieman tarkemmin. Näistä tärkeimpiä ovat SFS-EN 954-1 ja IEC 61508 sekä siitä johdettu konejärjestelmiin sovellettava standardi IEC 62061. [17, s. 9-10]

#### 4 Kehittämistehtävän toteutus

Kehitystehtävä tehtiin kokonaisuudessaan VTT:n henkilöstön johtamana ja koordinoimana. Prosessisuunnittelu tehtiin kokonaisuudessaan VTT:n toimesta, joka loi lähtötiedot sähköistyksen ja automaation osalle. Prosessisuunnittelun jälkeen tarkasteltiin koelaitteen turvallisuuteen ja lukitukseen liittyvät kokonaisuudet Hazop tarkasteluna. Tämän jälkeen varsinainen sähkö- ja automaatio suunnittelu toteutettiin yhteistyössä alihankkijoiden kanssa. Automaatiojärjestelmän laitearkkitehtuurin, tiedonsiirtoverkkojen ja



ohjelmistojen osalta pystyttiin käyttämään käytössä olevia järjestelmiä. Suunnittelutyön jälkeen varsinainen asennustyö toteutettiin VTT:n johtamana yhteistyössä alihankkijoiden kanssa.

Aikataulu GASGEN 2016-2017			2016												2017											
	START	END	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20	M21	M22	M23	M24
Prosessi suunnittelu	M1	M48																								
Prosessivirtojen mitoitus	M1	M48																								
PI-kaavion laadinta	M1	M48																								
Hazop tarkastelu	M1	M48																								
Laitemäärittelyt	M1	M2																								
Laiteluettelon määrittely	M3	M4																								
Sähkösuunnittelu	M4	M9																								
Ohjelmistosuunnittelu	M9	M12																								
Käyttöohjeet + HAZOP	M12	M13																								
Asennustyöt	M13	M17																								
Testaus (IO-testaus)	M18	M19																								
Kylmäkokeet	M20	M20																								
Ensimmäinen testijakso	M21	M21																								
Laitteiston luovutus	M22	M22																								
Ensimmäiset koeajosarjat	M23	M23																								

Kuva 10. Kehittämistehtävän aikataulu

#### 4.1 Koelaitteen mittaukset

Tulevassa koelaitteessa on seuraavat pääkomponentit:

1. Polttoaineen ja petimateriaalien syöttölaitteet
2. Kaasutuksen reaktiokaasujen ja vesihöyryn syöttölaitteet
3. Kaasutusreaktori
4. Lämmönvaihdin ennen kuumasuodatinta
5. Kuumasuodatin
6. Lämmönvaihdin kuumasuodatuksen jälkeen



Koelaitteen lämpötilamittaukset on toteutettu N-tyyppin termoelementeillä ja Nokevalin 6720 viestimuintimilla. Mekaaniselle kulutukselle joutuviissa lämpötilamittauksissa käytettiin termoelementtejä suojaavaa taskua. Tällä pystyttiin pidentämään termoelementin elinkaarta huomattavasti ja välttyttiin vikaantumisilta kesken koeajojen.

Lämpötilamittauksien kytkentä logiikkaan on esitetty liitteessä 2.

Paine/paine-eromittaukset on toteutettu koelaitteessa Aplisensin Smart APC-2000ALW/Exia lähettimillä. Lähettimien toiminta tarkastettiin painekalibraattorilla ja viestintä logiikalle HART kommunikaattorilla. Lähtösignaali painemittausalueella asetettiin kommunikaattorilla 4-20 mA:n. Kytkentäesimerkki logiikkaan on esitetty liitteessä 3.

Koelaitteen polttoainesäiliöiden pinnankorkeusmittaukset toteutettiin kapasitiivisilla mittauksilla. Koelaitteessa käytetyt polttoainesäiliöt olivat aikaisemmin käytössä olleen laitteen säiliöt, joissa polttoainesäiliön pinnankorkeutta mitattiin kapasitiivisilla antureilla. Näin ollen vanhojen toimivien mittauksien hyödyntäminen oli kustannuksien kannalta paras vaihtoehto. Varsinaisen kaasuttimen polttoaineen pinnankorkeuden mittaamisesta ei aikaisempaa kokemusta juurikaan ollut. Mittaamiselle aiheutti haasteita lämpötila, paine sekä kaasuttimen tuotekaasun tervapitoisuus. Tämän takia päätimme kokeilla pyörivää siipikytkintä mittaukseen, jonka rajoittavina tekijöinä luotettavalle mittaukselle olivat materiaalin likaisuus, paine ja lämpötila. Mekaaninen moottori sijoitettiin varsinaisen reaktorin ulkopuolelle. Liitteessä 4 on esitetty mittareiden kytkentä logiikkaan.

Siirtoruuvien pyörintävahdit toteutettiin induktiivisilla lähestymiskytkimillä. Ruuvien ympärille rakennettiin pulteista metallitapit, jotka reagoivat ruuvien pyöriessä lähestymiskytkimeen. Ruuvien pyörimistä valvotaan myös taajuusmuuttajilta saadun tiedon perusteella. Lukitustietoina käytimme lähestymiskytkimiltä tulevaa tietoa. Pyörintävahtien kytkentä logiikalle on esitetty liitteessä 5.

#### 4.2 Koelaitteen polttoaineen ja petilisäaineiden syöttö

Koelaitteen polttoaineen ja petilisäaineiden vastaanotto- ja syöttölaitteet koostuvat seuraavista pääosista.

1. Polttoaineen, PA1, vastaanottotasku ja sitä vastaavat kuljettimet.
2. Polttoaineen syöttösiilot ja niiden pohjalla olevat siirto/syöttöruuvit.
3. Polttoainesäiliöiden paineistus-, paineen poisto- ja tasauslinjat.
4. Peti/petilisäainesäiliöiden paineistus-, paineen poisto- ja paineen tasauslinjat.
5. Polttoaineen syöttöruuvi kaasuttimeen.
6. Peti/petilisäaineiden syöttösiilot ja niiden säätöruuvit.

Polttoaine tuodaan paikalle normaalisti säkeissä, joilla se siirretään joko suoraan tai vastaanottotaskun kautta pneumaattisesti ylempään polttoainesäiliöön. Tämän jälkeen polttoaine siirretään ruuvisyöttimillä alempaan polttoainesäiliöön, josta polttoaine syötetään reaktoriin. Polttoaineen syöttömäärää säädellään taajuusmuuttuja ohjatulla ruuvilla. Polttoaineen syötön säätö perustuu kaasuttimen lämpötilojen ja kaasun koostumuksen seurantaan ja tapahtuu valvomo-ohjelman kautta manuaalisesti.

Molemmat syöttösäiliöt (B-TA-120 ja B-TA-140) ovat ns. eläväsiiloja, jotka ovat varustettu polttoaineen laskeutumisen varmistavilla sekoituslavoilla. Säiliöissä on ylä- ja alarajavahdit, lämpötilanmittaukset ja painemittaukset.

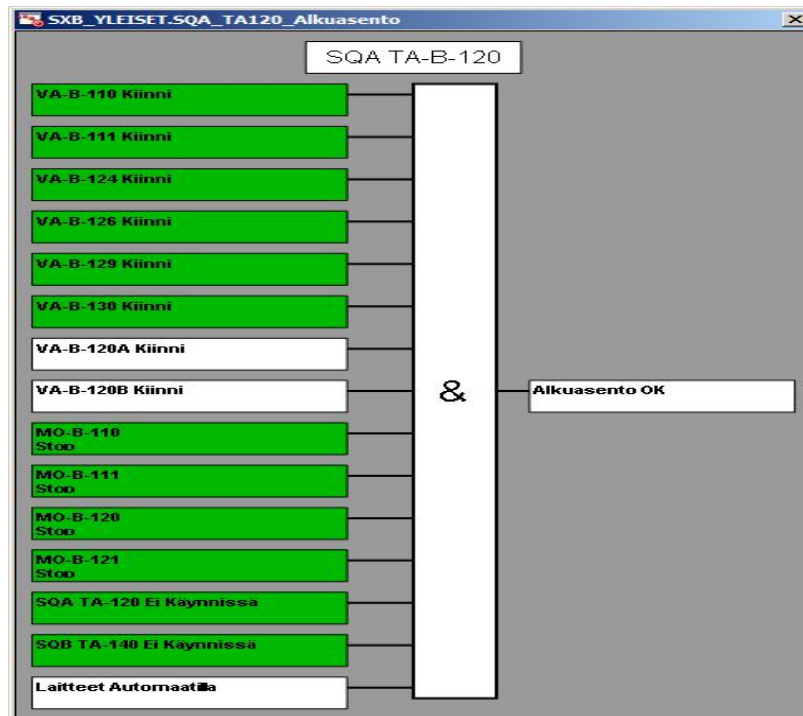
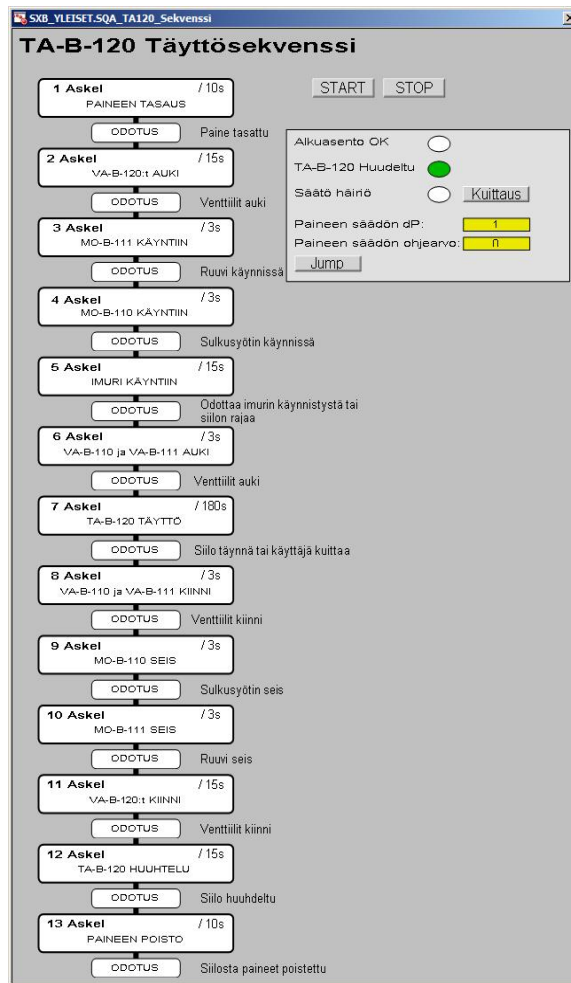
Polttoaineen syöttölaitteita käytetään automaatiojärjestelmän kautta joko automaattisesti tai manuaalisesti operaattorin toimesta. Polttoaineen syöttölinjastoon puhalletaan inertisointi- ja huuhtelutyyppiä, jonka virtauksia säädetään paikallisilla rotametreillä. Typpipuhalluksen määrä säädetään prosessitilanteen mukaan ja typen kokonaiskulutus mitataan termiseen massavirtamittaukseen perustuvalla mittarilla. Typpilinjan perässä on

sulkuventtiili, jonka avulla voidaan tarvittaessa katkaista kaikki polttoainelinjojen typpipursotukset samalla kertaa.

Polttoaineen syöttölinjassa on kaksi itsenäisesti toimivaa säiliöiden syöttösekvenssiä joita ohjataan automaatiojärjestelmän kautta. Nämä täyttösekvenssit eivät saa olla yhtä aikaa toiminnassa ja käynnistys tapahtuu operaattorin toimesta.

#### 4.3 B-TA-120 täyttösekvenssi

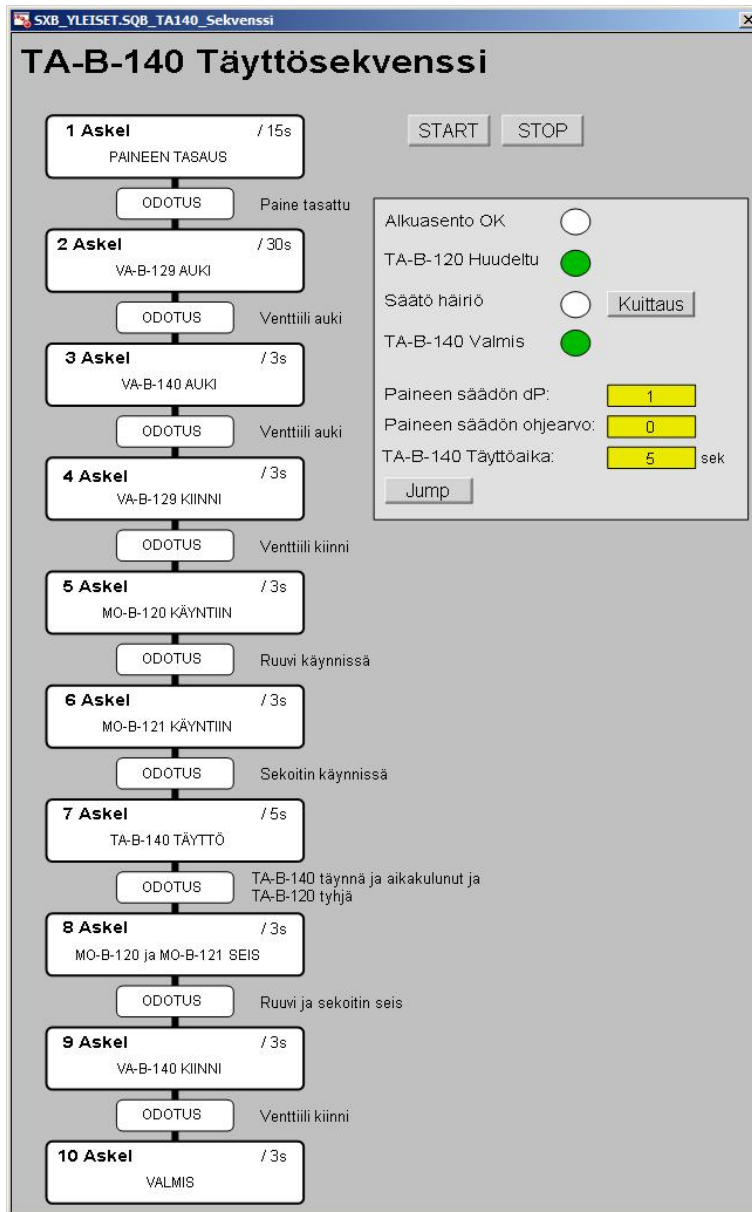
Säiliön B-TA-120 täyttösekvenssi tapahtuu aina ilmanpaineessa. Sekvenssi käynnistetään operaattorin toimesta automaatiojärjestelmän kautta. Ennen sekvenssin käynnistymistä ohjelma tarkastaa prosessin ja säiliön tilanteen, jonka jälkeen täyttö käynnistyy automaattisesti kuvassa 12 esitettyjen vaiheiden mukaisesti. Mikäli jossain sekvenssin vaiheessa ilmenee häiriö, täyttö keskeytyy automaattisesti. Tämän jälkeen vika on selvittävä ja kuitattava ohjelman kautta, vasta sitten sekvenssi voidaan käynnistää uudelleen.

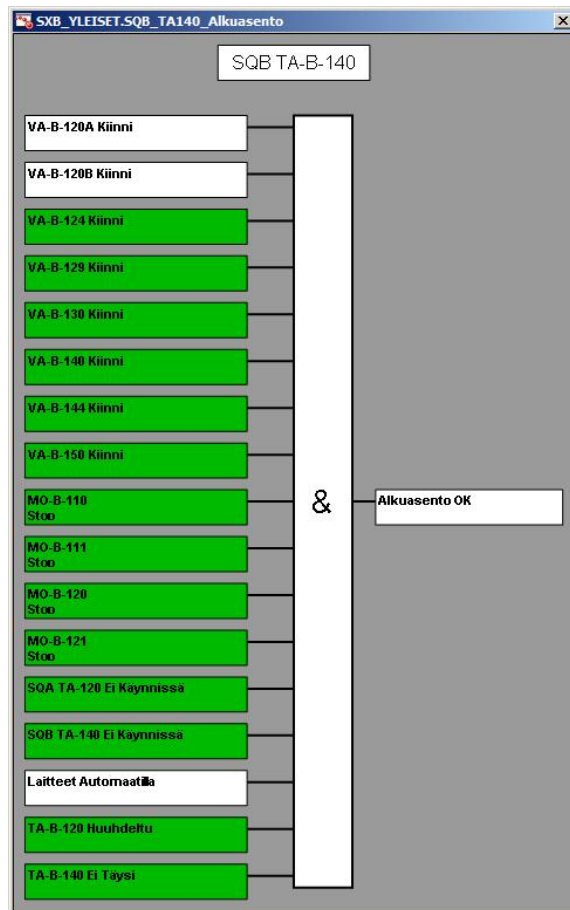


Kuva 12. Valvomokuva B-TA-120 täyttösekvenssin vaiheista.

#### 4.4 B-TA-140 täyttösekvenssi

Säiliön B-TA-140 täyttö tapahtuu aina B-TA-120 täyttösekvenssin jälkeen operaattorin toimesta. Täyttösekvenssi voidaan ajaa ilmanpaineisena tai paineellisena riippuen prosessin ajo-olosuhteista. Häiriötilanteissa sekvenssi keskeytyy automaattisesti, vian selvityksen ja kuittauksen jälkeen voidaan sekvenssi käynnistää uudelleen. B-TA-140 täyttösekvenssin vaiheet on esitetty kuvassa 13.





Kuva 13. Valvomokuva B-TA-140 täyttösekvenssin vaiheista.

#### 4.5 Koelaitteen turvallisuus ja hätäseisointinnot

Koelaitteen turvallisuustarkastelu toteutettiin Hazop -poikkeamatarkasteluna. Tarkastelun fasilitaattorina toimi koelaitteen rakentamisesta vastaava projektipäällikkö. Tilaisuuden asiantuntijoina toimivat tulevan koelaitteen koeajojen vuoromestarit, jotka vastaavat koelaitteen teknisestä toiminnasta koeajojaksojen aikana. Tarkastelun pohjaksi prosessi koelaitteessa jaettiin seuraaviin osiin; kaasutin, spouted bed, tuotekaasulinja 1, suodatin ja tuotekaasulinja 2. Jokainen prosessivaihe tarkasteltiin erikseen ja kaikki turvallisuusriskit arvioitiin kuvan 14. riskimatriisin mukaisesti. Tarkastelussa kaikki turvallisuusriskit sijoittuivat riskiluokkaan 0-2, joita voidaan pitää kohtuullisena riskeinä ja jotka eivät vaadi toimenpiteitä ennen koelaitteen varsinaista käyttöönottoa.





**HAZOP -POIKKEAMATARKASTELU**  
Riskimatriisi

Projektitunnus  
0

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy

Laitos kohde

VTT BIORUUKKI/ Gasgen kiinteäkerroskaasutin

RISKIEN LUOKITUS	Riskin hallinta (RM) - Taajuus-/Todennäköisyysluokka (f)		
	HEIKKO RM F Satunnainen f > kerran 3 vuodessa	KOHTUULLINEN RM S Harvinainen kerran 3 < f < 30 vuodessa	HYVÄ RM U Epätodennäköinen f < kerran 30 vuodessa
C Katastrofaalinen	<b>Riskiluokka C5</b>	<b>C4 tai C3</b>	<b>C2 tai C1</b>
V Hyvin vakava	<b>V4</b>	<b>V3</b>	<b>V2 tai V1</b>
S Vakava	<b>S3</b>	<b>S2</b>	<b>S1</b>
M Lievä	<b>M2 tai M1</b>	<b>M1 tai M0</b>	<b>M0</b>
<b>Tulkinta</b>	<b>Riskiluokka 5, 4</b> 3 2 0 - 1	Erittäin suuri riski; vaaditaan tehokkaista toimenpiteitä Suuri riski; vaaditaan toimenpiteitä Kohtuullinen riski; lievät toimenpiteet tarpeen Matala riski, ei välttämättä toimenpiteitä	

Kuva 14. Hazop –poikkeamatarkastelu kaavio

Hätätilanteita varten koelaitteistolle on rakennettu kaksi toisistaan riippumatonta hätä-alasajo-menettelyä, joista toinen tapahtuu logiikan kautta automaattisesti (tai valvomo-ohjelmasta operaattorin toimesta) ja toinen mekaanisen valvomoon sijoitetun hätä-seis-kytkimien avulla. Käytännössä hätäpysäytys joudutaan suorittamaan esim. koelaitteiston vakavan toimintahäiriön, tulipalon tai suuren kaasuvuodon vuoksi.

Hätä-seis-kytkimen kautta tapahtuva laitteen alasajo suoritetaan tilanteissa, joissa laitteesta ei enää pystytä hallitsemaan logiikan kautta esimerkiksi jos logiikka ei toimi, tulee pidempiaikainen sähkökatkos tai paineilma loppuu. Hätä-seis-kytkin on sijoitettu valvomon poistumistien lähelle. Kytkin merkitään "SXB - HÄTÄSEIS". Mikäli kattilalaitos toimii edelleen ilman ongelmia, jätetään se päälle, jotta kaasuttimesta alasajon aikana syntyvät kaasut palaisivat edelleen kattilassa.

Koelaitteessa on koeajojen aikana kuuma, paineellinen, myrkyllinen kaasuseos, joka on myös herkästi syttyvä jos se pääsee kosketuksiin koehallin ilman kanssa.

Koska koeajoihin liittyy useita mahdollisia riskitilanteita, on koeajoissa aina noudatettava tässä esitettyjä käyttöohjeita sekä toimittava huolellisesti ja harkiten.

Kokeissa käytetään myös myrkyllisiä kalibrointikaasuja ja näytteenotossa liuottimia, joiden käytössä noudatetaan käyttöturvallisuustiedotteissa kuvattuja ohjeita. Kaasukeskuksen viereen on asennettu palavien kaasujen yleishälytyn ilmaisemaan mahdolliset

kaasuvuodot. Kaasuantureita on sijoitettu koelaitoksen eri tasoille. Hälyttimien vieressä ja hälytyskeskuksessa olevien valo- ja äänihälyttimien lisäksi koehallin on sijoitettu ääni- ja valohälytin, jossa oranssivalo tarkoittaa vähän kohonnutta pitoisuutta ja punainen valo ja ääni hälytysrajan II ylittänyttä arvoa.

Koeajoissa käytetään henkilökohtaisia kaasuhälyttimiä ja suojaimia:

- Henkilökohtaiset CO- ja happivajaushälyttimet
- Kypärä, suojavaatteet, hengityssuojaimet, kuulosuojaimet

Henkilökohtaiset CO- ja happivajausmittarit säilytetään valvomossa, silloin kun ne eivät ole käytössä. Niiden toimivuus tarkastetaan ennen koeajoa. Ilmapullot ja pelastautumishuput varataan valvomon ja koelaitteen läheisyyteen sopivaan paikkaan ja niiden toiminta tarkastetaan ennen koeajoa.

Koetilaan ja koetointaan liittyy myös yleisempiä riskitekijöitä, kuten:

- liikkuminen portaissa, tasoilla ja ahtaissa koehallin paikoissa
- raskaiden ja hankalien näytteenotto- ym. tarvikkeiden kantaminen ja siihen liittyvät riskit
- kuumien pintojen aiheuttamat palovammariskit
- korkeisiin paikkoihin liittyvä putoamisvaara

Kokeiden turvallisuusasiat käydään läpi ennen koeajoa tai kunkin ajovuoron alussa.

Edellä esitettyjen menettelytapojen lisäksi kokeissa noudatetaan seuraavia erityisiä turvallisuusohjeita:

- Koeajojen aikana koetila merkitään ja eristetään muusta koehallista selkeästi ja turha liikkuminen koetilassa estetään.
- Koeajojen aikana tulitöiden tekeminen on sallittua vain ajomestarin luvalla ja erityistä varovaisuutta noudattaen. Tupakointi ja muu avotulen tekeminen on ehdottomasti kielletty.
- Koetilassa olevista henkilöistä pidetään lukua valvomossa käyttämällä esim. tarkoitukseen varattua henkilötäulua.

- Poistumistiet tulee käydä läpi ennen koeajoa ja jokaiselle koetilassa työskentelevälle tai vierailevalle on annettava riittävä opastus poistumisreiteistä ja mahdollista vaaratilanteista.
- Koelaitteen kriittisiin kohtiin on asennettu huomiohälytysnapit, joilla voidaan ilmaista vaaratilanne ja/tai pyytää apua valvomosta. Hälytyksestä syttyy merkkivalo ja äänisummeri koehallissa ja valvomossa. Hälytyksen tapahtuessa kaikki tasoille tai muutoin vaarallisissa paikoissa työskentelevät työntekijät poistuvat koetilasta ulkona sijaitsevaan kokoontumispaikkaan. Valvomohenkilöstö tarkastaa tilanteen ja ryhtyy tarvittaviin pelastus- ja suojaustoimenpiteisiin.
- Valvomossa ja koetilassa käytetään tarpeen mukaan myös LA-puhelimia, joita tulee käyttää koehallissa työskenneltäessä.
- Koehallissa sijaisevien hapen syöttölinjan sulkuventtiilien sijainti ja käyttö käydään läpi kaikkien koelaitteella työskentelevien henkilöiden kanssa. Muutoin hapen syöttölinjan laitteita saa käyttää vain asianmukaisen koulutuksen saaneet henkilöt.
- Koelaitteen manuaalisesti tehtävän hätä-seis-toiminnon suorittaminen käydään läpi koelaitteen käyttöhenkilöstön kesken, niin että jokainen varmuudella osaa käynnistää hätä-seis-toiminnon.
- Suodattimen tuhkan ja pohjatuhkan käsittelyssä on käytettävä suojarusteita, jotta vältetään tuhkan joutuminen hengityselimiin ja vältetään ihokosketus. Suodattimen lentopöly on myös palavaa.
- Polttoaineen käsittelyssä ja sillojen täytössä on suojauduttava pölyltä ja tiedostettava itsesyttymiseen ja pölyräjähdykseen liittyvät riskit.
- Kaasu- ja epäpuhtausnäytteenotossa on käytettävä kussakin työvaiheessa tarpeen mukaisia suojarusteita, jotta vältetään altistuminen liuottimille ja näytteidensä sisältämille myrkyllisille aineille.
- Laitteiston pintalämpötiloja seurataan säännöllisesti, esim. kerran työvuoron aikana tehtävin mittauksin. Mittauksen tulos kirjataan ajopöytäkirjaan.
- Hätätilanteissa noudatetaan hätä- ja pelastautumisohjeita.
- Koehallissa on silmien huuhtelupisteet, joiden sijainti käydään läpi koehenkilöstön kanssa.
- Valvomossa säilytetään käytettävien kemikaalien ja muiden vaarallisten aineiden käyttöturvallisuustiedotteet.

## 5 Kehittämistehtävän tulokset ja jatkohankkeet

Kehittämistehtävän päätavoitteena oli toteuttaa pilot kokoluokan kiinteäkerroskaasuttimen sähköistys ja automatisointi. Koelaitteen on tarkoitus palvella uuden CHP teknologian kehitysprojekteja tulevaisuudessa. Tällä hetkellä koelaitteella on tehty ensimmäiset testaukset ja näiden tuloksien pohjalta koelaitteella tullaan tekemään useita koeajosarjoja vuoden 2018 aikana. Merkittäviä muutoksia sähköistykseen ja automaatioon liittyen ei ollut tarpeen tehdä ja alustavissa koeajoissa prosessin toimivuudesta on saatu rohkaisevia tuloksia.

Projektiorganisaation kokemuksien ja keskustelujen perusteella koettiin projektipalaverien määrä liian vähäiseksi. Tulevaisuudessa tullaan luomaan palaverikäytäntöjä tehokkaammiksi sekä säännöllisiksi kerran viikossa pidettäviksi työmaapalaveriksi, jotka palvelisivat paremmin työn etenemistä sekä ohjaisivat alihankkijoiden toimintaa tehokkaammin. Tämän toivotaan myös auttavan aikatauluissa pysymiseen, mikä taas helpottaa jatkohankkeiden suunnittelua.

Mittausmenetelmien osalta lähinnä kaasuttimen polttoaineen pinnankorkeuden mittauksesta ei ollut aikaisempaa kokemusta, mutta alustavien tuloksien perusteella tässäkin onnistuttiin vähintään tyydyttävästi. Muiden mittauksien osalta pystyttiin käyttämään aikaisempaa kokemusta vastaavista koelaiterakennusprojekteista.

Koelaitteen ja hätä-seis-toimintojen osalta turvallisuus pyrittiin pitämään vähintäänkin samalla tasolla kuin aikaisemmissa projekteissa. Koska kaasuttimen kehittäminen perustui kokonaisuudessaan uuden prosessin kehittämiseen, valmistauduttiin ensimmäisiin koeajoihin huolella ja miehitykseen lisättiin jokaiseen vuoroon yksi lisähenkilö, jolla varmistettiin kokeiden turvallisuuden tasosta. Vankan kokemuksen ja osaavan henkilökunnan turvin koeajoista selvittiin ilman riskejä. Merkittäviä muutoksia turvallisuusmielessä ei kirjattu.

IO-testauksien osalta saatiin luotua valmiit pohjat ja testausmenetelmät, jotka tulevaisuudessa tulevat palvelemaan seuraavissa koelaiterakennusprojekteissa.

Koelaitteen ympärille on rakennettu uusi kehitysprojekti, jota kutsutaan työnimellä FLEX-CHX. Projekti on vielä hakuvaiheessa, mutta projektin läpimienemiseen uskotaan. Uusi koelaitte tulee palvelemaan projektin kokeellista toimintaa ja prosessin kehittämistä.

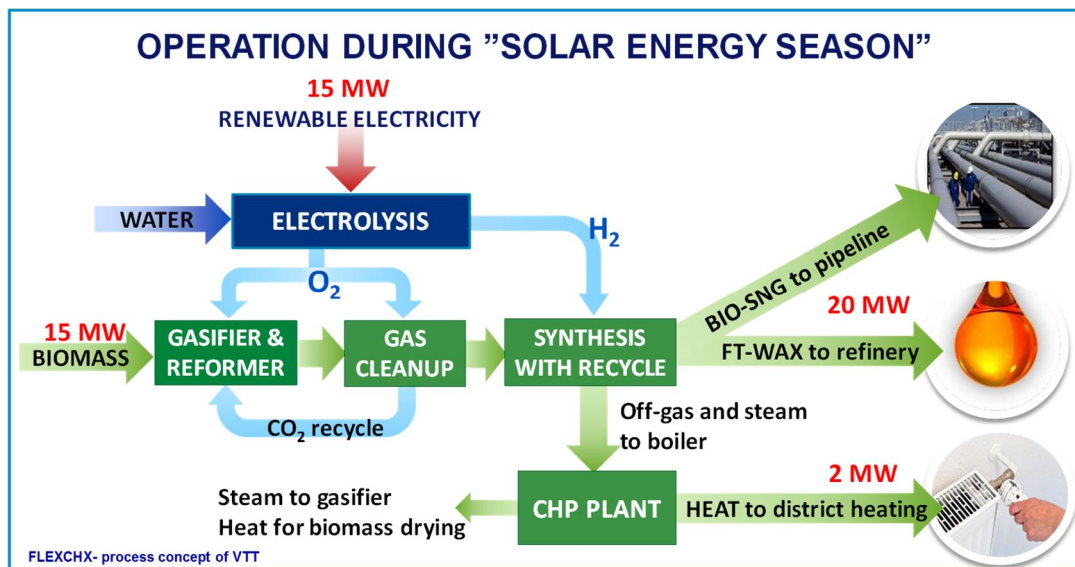
## FLEXCHX

Aurinkoenergian tuotanto sekä sähkön- ja lämmöntarve eivät kohtaa Pohjois- ja Keski-Euroopan olosuhteissa: tuotantoa on pääasiassa kesäkaudella, jolloin kysyntä on vastaavasti alhainen. Tämän vuoksi aurinkosähkön varastointi on noussut keskeiseksi teemaksi. Toisaalta liikenteen hiilidioksidipäästöille on asetettu tiukat vähennystavoitteet, joiden saavuttaminen edellyttää biopolttoaineiden tuotannon voimakasta kasvua. FLEX-CHX-hankkeen tavoitteena on kehittää kustannustehokas hybridiprosessi, jolla pystytään vastaamaan näihin energiahaasteisiin. Konseptin keskeisenä ideana on yhdistää veden elektrolyysi biomassan kaasutus- ja synteesisprosessiin, jolloin kesäaikaan saatavilla oleva edullinen, uusiutuva sähkö voidaan tehokkaasti hyödyntää ja prosessin lopputuotejakaumaa voidaan varioida joustavasti kulutuksen ja kauden mukaan. Kesäaikaan puolet laitoksen käyttämästä primäärienergiasta saadaan sähköstä ja loput kateetaan biomassalla. Vesi hajotetaan sähkön avulla elektrolyysissä vedyksi ja hapeksi, jotka hyödynnetään kaasutusprosessissa nestemäisen biopolttoaineen tuotantoon (Fischer-Tropsch vaha). Laitos tuottaa lisäksi pienen määrän lämpöä kattamaan kesäajan kaukolämmön tarpeen. Talviaikaan laitos käyttää ainoastaan biomassaa raaka-aineenaan ja tuottaa nestemäistä polttoainetta, lämpöä sekä sähköä korkealla hyötysuhteella. FLEX-CHX-hankkeen takana on monikansallinen konsortio, joka koostuu tutkimuslaitoksista, teollisuuskumppaneista sekä pk-yrityksistä kattaen koko arvoketjun biomassan kaasutuksesta aina tuotteen loppukäyttäjiin asti.

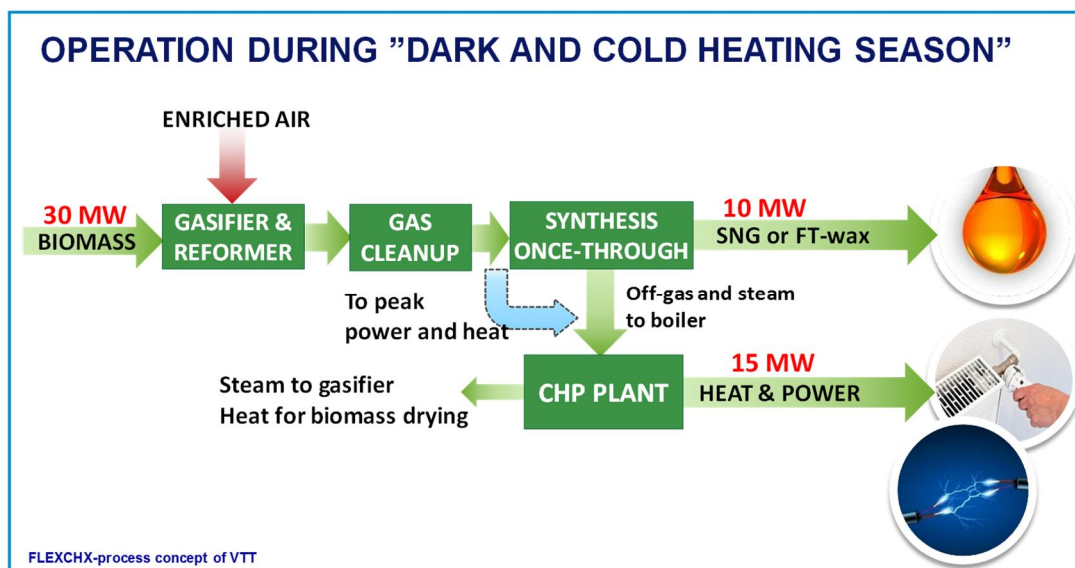
Ehdotuksen tärkeimmät ajatukset ovat:

- Hybridiprosessi, joka integroi elektrolyysin biomassan kaasutukseen ja synteisiin
- Kesäkaudella uusiutuvaa polttoainetta (Fischer-Tropsch vaha) tuotetaan biomassan hiilestä ja aurinkoenergialla tuotetusta vedystä ja hapesta. Pieni määrä sivutuotteiden lämpöä tuotetaan myös kattamaan kesän kysyntä lämmityksen osalta. Biomassan kulutus puoliintuu verrattuna talviaikaan ja 50 % syöttöenergiasta tulee aurinkoenergialla tuotetusta vedystä ja hapesta.

- Talvikaudella laitosta käytetään ilman elektrolyysiä siten että biomassan muuntaminen nestemäiseksi polttoaineeksi minimoidaan ja vastaavasti lämmön ja sähkön tuotanto maksimoidaan.
- Suurin osa investoiduista laitoskomponenteista on käytössä koko vuoden ajan, mutta vain elektrolyysiyksikköä käytetään kausiluonteisesti. FLEXCHX:n takana on monikansallinen konsortio, joka koostuu TTK-organisaatioista, teollisuudesta ja pk-yrityksistä kattavaan koko arvoketjun.



Kuva 15. FLEXCHX laitoksen toimintaperiaate aurinkoenergiakaudella.



Kuva 16. FLEXCHX laitoksen toimintaperiaate lämmityskaudella.

## 6 Yhteenveto

Koelaitteen ongelmakohdat ja kehittämistarpeet olivat tiedossa ja selkeästi määriteltävissä jo projektin alkuvaiheessa. Teknisesti haastavien mittauksien osalta ongelmakohdat olivat selkeästi tiedossa ja niiden kehittäminen on jatkuvaa työtä uusia tutkimuslaitteita rakennettaessa. Ensimmäiset kokeet pilotilla on tehty ja kokeiden tuloksien analysointi on parhaillaan käynnissä. Muutamia muutostöitä itse koelaitteeseen tehdään ennen seuraavia koeajoja. Merkittävimpana rakennusaikana ilmenneenä ongelmana koettiin alihankkijoiden työn koordinointi, johon vaikuttaa usean eri koelaitteen samanaikainen rakentaminen ja samojen alihankkijoiden töiden priorisointi. Tiimin ja uuden tutkimuskeskuksen yhtenä kehittämiskohteenä seuraavan vuoden aikana on kirjattu alihankintana teetetyn työn koordinointi ja kehittäminen. Tutkimuskeskuksen laajentuessa tämä tulee olemaan merkittävässä roolissa seuraavien vuosien aikana. Työn aikana saatiin kuitenkin luotua joitakin uusia käytäntöjä koelaiterakentamisen puolelle. Muutokset eivät olleet suuria, mutta pienilläkin muutoksilla saatiin merkittäviä tuloksia töiden etene-  
misen kannalta.

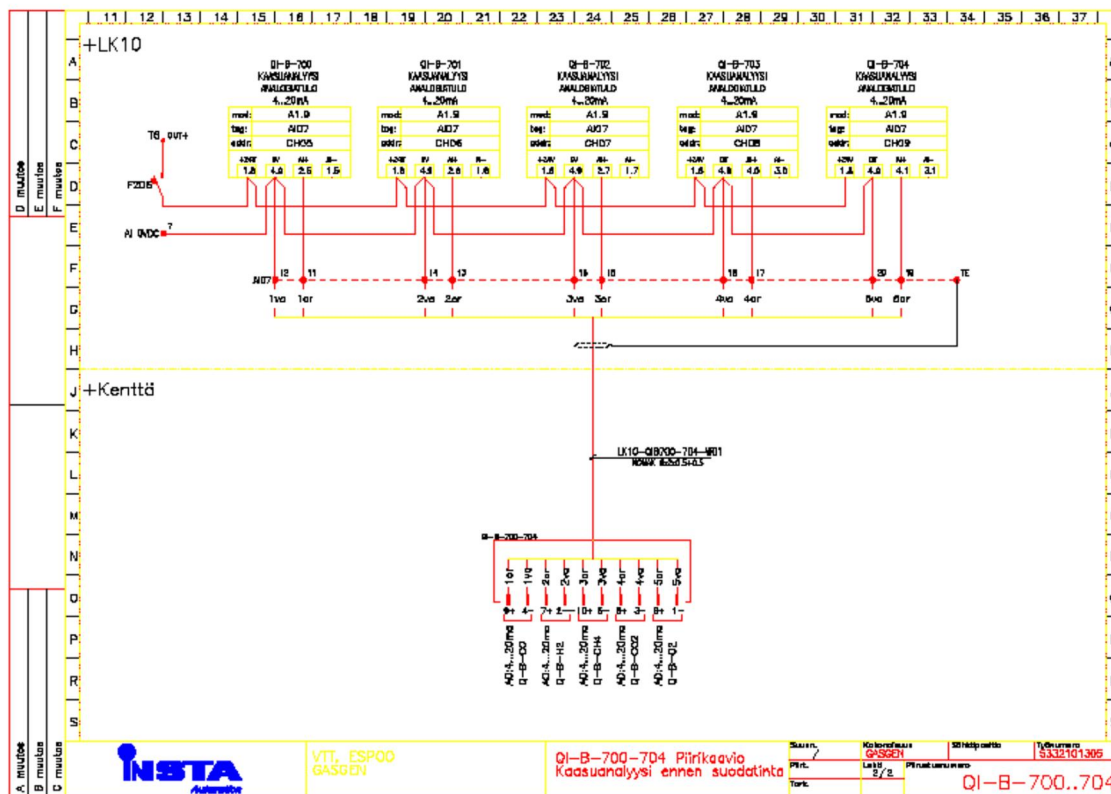
## Lähdeluettelo

- 1 VTT. Verkkodokumentti <http://www.vtt.fi/tietoa-meistä>. Luettu 15.9.2017.
- 2 Kurkela, E., Hiltunen, I. Projektihakemus: Biomassa CHP teknologian kehitys globaaleille markkinoille, 31.10.2014.
- 3 Hiltunen, I., Pienen kokoluokan kaasutustekniikan kehityspolku, VTT Seminaari: Puuhakkeesta sähkö ja lämpöä – pienen kokoluokan kaasutustekniikan kehitys ja tulevaisuus, 13.6.2013.
- 4 Kurkela, E. 2004. Kaasutustekniikka. Teoksessa: Kara, M. (toim.). Energia Suomessa - Tekniikka, talous ja ympäristövaikutukset. Helsinki: Edita Prima Oy, 3.painos.
- 5 Review of finnish biomass gasification technologies. 2002. OPET Report 4. Espoo: VTT.
- 6 McKendry, P. 2002. Energy production from biomass (part 3): gasification technologies (review paper). Bioresource Technology, Vol. 83.
- 7 James R. Couper, W. Roy Penney, James R. Fair, Stanley M. Walas  
Chemical Process Equipment Selection and Design, Revised second Edition  
ISBN: 978-0-12-372506-6
- 8 Suomen Automaatioseura ry. 2007. Automaatiosuunnittelu prosessimalli. Yhteiset käsitteet verkottuneen suunnittelun perustana. Verkojulkaisu. ISBN 978-952-5183-34-4.
- 9 Bela G. Liptak. 2003. Process Measurement and Analysis, volume 1.
- 10 Annala, O. 2006. Mittaustekniikan perusteet. Helsinki: Hakapaino Oy, 13. muuttamaton painos.
- 11 Suomen Sääätötekniikan Seura ry. 1981. Lämpötilan mittaukset. INSKO ja INSI-NÖÖRITIETO Oy. julkaisu no 3.

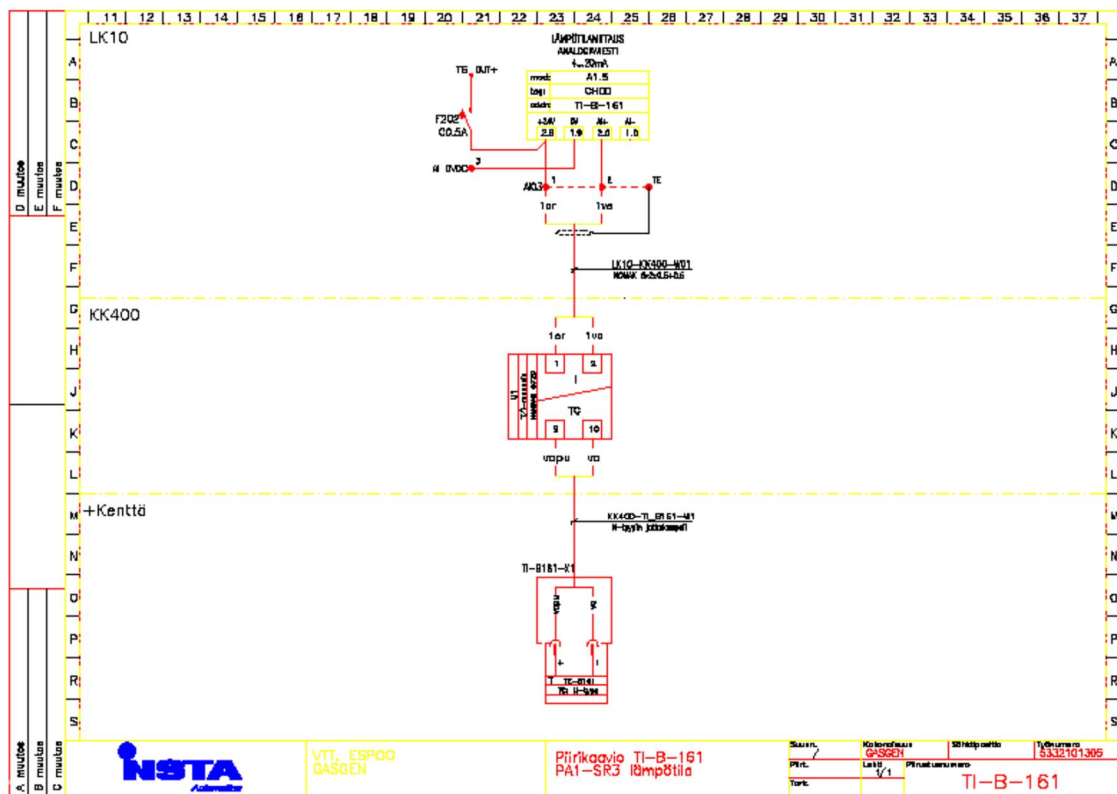


- 12 APLISENS. Smart Pressure Transmitter APC-2000ALW Manual.
- 13 Rantanen, M., Saxholm, S. 2011. MIKES Metrologia J1/2011 Paineen mittaus.
- 14 Pihkala, J. Prosessisuureiden mittaustekniikka. 2004. Vantaa: Dark Oy, 2. uudistettu painos.
- 15 Sihvonen, P, Pakarinen, M. 2004. Automaation anturit laboratorio työohje. Savonia AMK
- 16 Hauke, M, Schaefer, M, Apfeld, R, Boemer, T, Huelke, M, Borowski, T, Bullesbach, K-H, Dorra, M, Foermer-Schaefer, H-G, Grigulewitsch, W, Heimann, K-D, Köhler, B, Krauss, M, Kuhlem, W, Lohmaier, O, Meffert, K, Pilger, J, Reuss, G, Schuster, U, Seifen, T, Ziligen, H. 2009. BGIA Report 2/2008e. German Social Accident Insurance (DGUV). ISBN 978-3-88383-793-2.
- 17 Malm, T, Kivipuro, M. 2004. Turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmät konesoveluksissa. VTT Tiedotteita 2264. Espoo 2004.

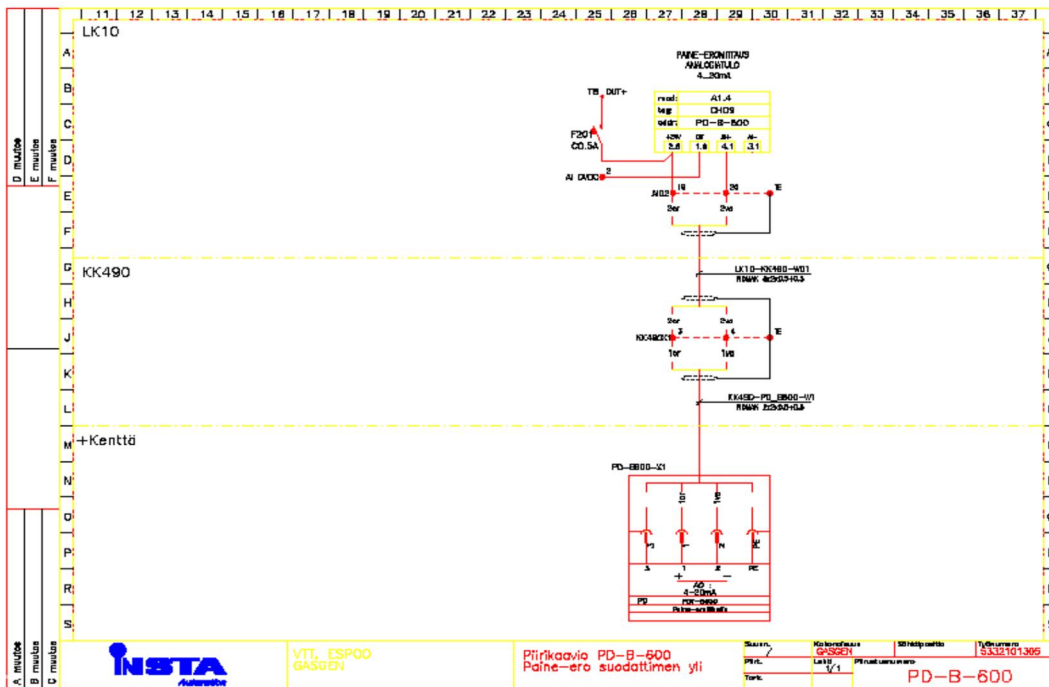
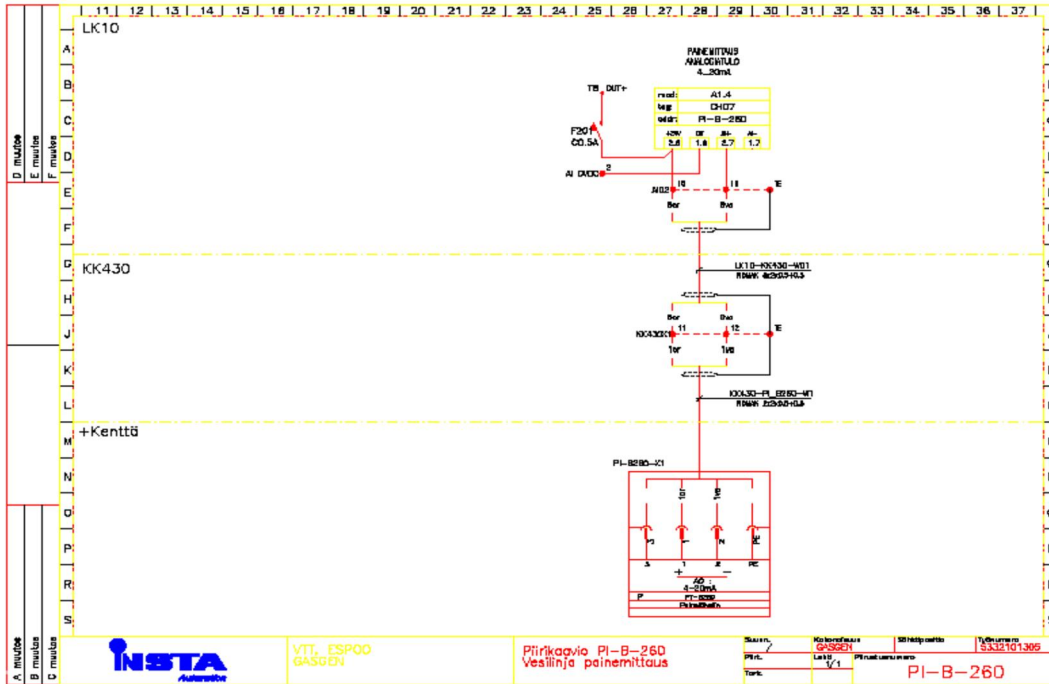
Kaasuanalyysin kytkentä logikkaan



Lämpötilamittauksien kytkentä logiikkaan



Paine/paine-ero mittauksien kytkentä logiikkaan







Pyörintävahlien kytkentä logiikkaan

