

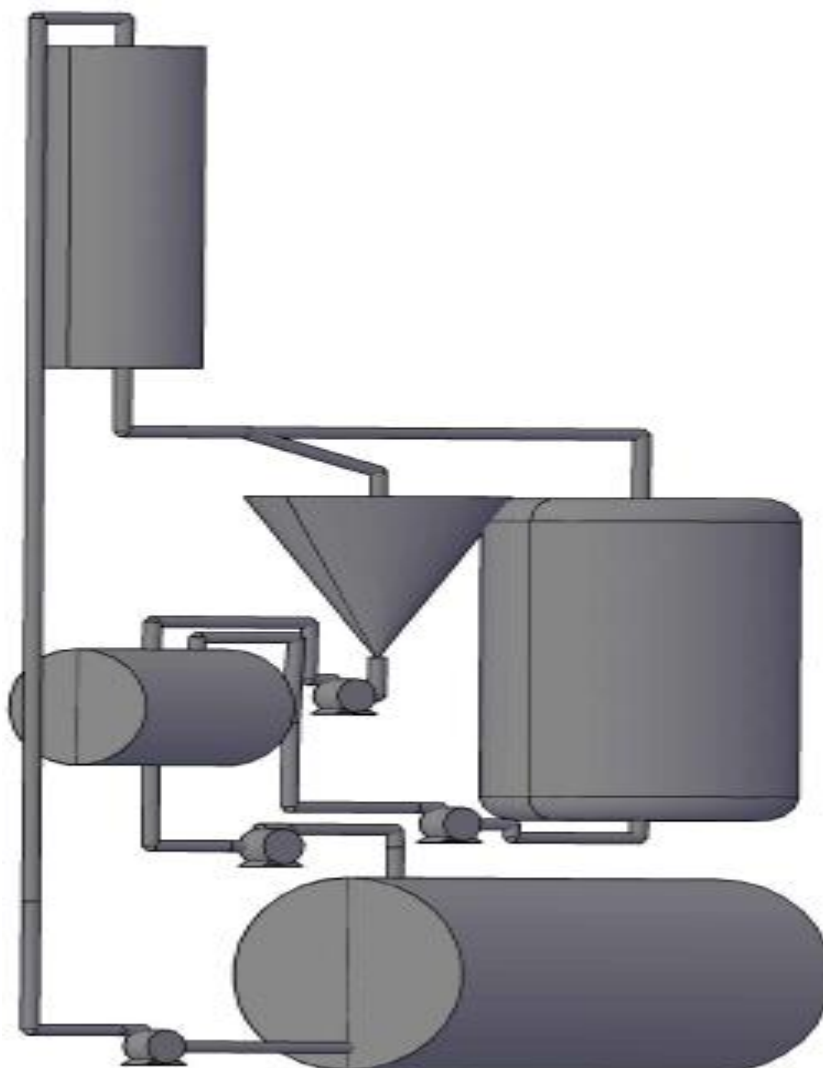


RAPPORT FRA 5. SEMESTERS PROSJEKT HØSTEN 2011

IA5510 5. semesters prosjekt

IA5-6-11

Prosjektering og utvikling av laboratorium med prosessmodell





Høgskolen i Telemark

Avdeling for teknologiske fag

Bachelor i ingeniørfag

RAPPORT FRA 5. SEMESTERS PROSJEKT HØSTEN 2011

Emne: IA5510 5. semesters prosjekt

Tittel: Prosjektering og utvikling av laboratorium med prosessmodell

Rapporten utgjør en del av vurderingsgrunnlaget i emnet.

Prosjektgruppe: IA5-6-11

Tilgjengelighet: Åpen

Gruppedeltakere:

Åsmund Natås

Henrik Frigaard Rybråten

Andreas Rege

Hovedveileder: *Hans-Petter Halvorsen*

Biveileder: *Morten Pedersen*

Prosjektpartner: *Yara Porsgrunn*

Godkjent for arkivering: _____

Sammendrag:

Dette er en rapport basert på et studentprosjekt i samarbeid med Yara Porsgrunn. Oppgaven var tredelt. Første del gikk ut på å oppdatere laboratoriet til Yaras prosessdataavdeling. På laboratoriet var det ønske om å utvide nettverket slik at det inneholder fire stasjoner med hver sin DeltaV-kontroller og server. Del to gikk ut på å utvikle en prosessmodell til simulering og opplæring i DeltaV-styresystem og reguleringsteknikk. Det var opp til gruppen å komme med forslag til type modell. Det ble lagt frem tre forskjellige forslag. Yara valgte forslaget med en nivåreguleringsmodell med 5 vanntanker. De syntes dette var det beste alternativet, siden denne type prosess lignet mest på deres egne anlegg. Den tredje delen går ut på å regulere modellen ved bruk av DeltaV og er utsatt til 6. semester. Del en og to av oppgaven går over 5. og 6. semester. Det betyr at det bare er planleggingen og budsjett delen av prosjektet som er omfattet av denne rapporten. Budsjettet som er gitt til prosjektet er på 50 000,00 kr, og er en del av Yaras budsjett for 2011. Alt av nytt utstyr måtte derfor bestilles i 5. semester. Det var utfordrende å få tak i komponenter som møtte kravene til funksjonalitet samtidig som budsjetttrammene skulle overholdes. Yara stiller med alt utstyr til kontrollsystemet og diverse koblingsmateriell. Dette har gjort det mulig å overholde budsjettet, men gruppen har allikevel brukt mye tid på å finne frem til passende komponenter. Bestillingslister på komponenter er satt opp og levert til innkjøp.

Høgskolen tar ikke ansvar for denne studentrapportens resultater og konklusjoner



Fakultet for teknologiske fag

FORORD

Denne tekniske rapporten er utarbeidet av tre studenter på 3. året Informatikk og Automatisering Y-VEI ved Høgskolen i Telemark. Oppgaven er utført i 5. semester høsten 2011 i faget IA5506 Prosjekt IA5.

Prosjektet er et samarbeidsprosjekt mellom prosjektgruppen og prosessdataavdelingen til Yara Porsgrunn. Gruppen fikk en stikkordsliste med ønsket prosjektinnhold, og utformet oppgaveteksten ut fra denne. Oppgaveteksten i sin helhet er lagt ved som vedlegg A. Vi vil rette en stor takk til Håkon Wærstad, Stig Myrland, Ingvar Westengen samt resten av avdelingen for deres veiledning og innspill.

Vi retter også en takk til Knut Vågsæther for hjelp til problemstillinger i fluidmekanikk.

For å få fullt utbytte av rapporten kreves det noe kjennskap til grunnleggende reguleringsteknikk og Emerson Process Management DeltaV-programmeringsverktøy (heretter referert til som DeltaV). Forkortelser som er brukt i rapporten vil være forklart i nomenklaturlisten.

Dataverktøy som er benyttet er Microsoft Visio, Microsoft PowerPoint, Microsoft Excel, Microsoft Word, Microsoft Project, DeltaV og AutoCAD.

Åsmund Natås

Henrik Frigaard Rybråten

Andreas Rege

NOMENKLATURLISTE

AC	-	Alternating Current
AHH	-	Alarm High High
ALL	-	Alarm Low Low
barg	-	Bar Gauge
DC	-	Direct Current
DCS	-	Distributed Control System
DI	-	Digital Input
DO	-	Digital Output
DST	-	Device Signal Tag
FLC	-	Fuzzy Logic Control
HART	-	Highway Addressable Remote Transducer
HAZOP	-	Hazard and Operability Study
HMI	-	Human Machine Interface
I/P	-	Current (I) / Pressure (P)
ID	-	Identifikasjon
IO	-	Input/Output
KVM	-	Keyboard, Video or Visual display unit, Mouse
LAN	-	Local Area Network
MPC	-	Model-based Predictive Control
NPK	-	Nitrogen (N), Fosfor (P), Kalium (K)
OLE	-	Object Linking and Embedding
OPC	-	OLE for Process Connectivity
P&ID	-	Process and Instrumentation Diagram
PC	-	Personal Computer
PID	-	Proporsjonal Integral Derivat
PROPLUS	-	ProfessionalPLUS
PT-100	-	Platina 100 Ω ved 0°C
PWM	-	Pulse Width Modulation
ScTP	-	Screened Twisted Pair
SP	-	Settpunkt
TRIAC	-	TRIode for Alternating Current
USB	-	Universal Serial Bus
V	-	Volt
Xc	-	Kapasativ Reaktans

INNHOLDSFORTEGNELSE

Forord	2
Nomenklaturliste.....	3
Innholdsfortegnelse.....	4
1 Innledning	6
2 Samarbeidet med Yara	8
2.1 Yara International	8
2.2 Yara Porsgrunn.....	8
2.3 Samarbeidet.....	8
3 Teorigrunnlag.....	10
3.1 Ventiler	10
3.2 Pumper.....	11
3.3 Sensorer	13
3.3.1 Trykk	13
3.3.2 Temperatur.....	15
3.3.3 Flow.....	16
4 Styresystemet	18
4.1 DeltaV	18
4.1.1 Bruksområder	18
4.1.2 Bakgrunn	18
4.1.3 Maskinvare.....	19
4.1.4 Programvare	20
4.2 HMI.....	21
4.3 Plan for program.....	22
4.3.1 Blandingsforhold.....	22
4.3.2 Tidskonstanten.....	23
4.3.3 Regulering i de ulike tankene.....	25
4.3.4 Nivåmåling ved hjelp av trykksensor	26
4.3.5 Typer regulering	27
5 Kontrollnetverket på laboratoriet	29
5.1 Planlagt oppbygning	29
5.2 Planlagt virkemåte	29
6 Prosessmodellen.....	31
6.1 Planlagt oppbygning	31
6.1.1 Tankene.....	32
6.1.2 Rørsystemet.....	33
6.2 Modellens virkemåte.....	34
7 Budsjett	37
8 Sikkerhet	39
8.1 HAZOP	39
9 Videre arbeid	41
10 Oppsummering	42
Referanser.....	43
Vedlegg.....	44
Vedlegg A Oppgaveteksten	45

Vedlegg B Fremdriftsplan.....	48
Vedlegg C HAZOP	50
Vedlegg D Beregning av overtrykk i TA-005:	51
Vedlegg E P&ID	53
Vedlegg F Leserveiledning til P&ID	54
Vedlegg G Bestillingsliste laboratorium.....	55
Vedlegg H Bestillingsliste modell	56
Vedlegg I Datablad trykktransmitter	57
Vedlegg J Reynolds' tall og typer strømning	58
Vedlegg K Skisse av nivåreguleringsmodell	59
Vedlegg L Skisse av pelletsmodell	60
Vedlegg M Skisse av olje/vannseparator	61
Vedlegg N Konstruksjonstegninger av tanker	62

1 INNLEDNING

I dette prosjektet har gruppen fått muligheten til å samarbeide med prosessdataavdelingen hos Yara i Porsgrunn. Vi ønsket å ha samarbeid med en ekstern partner i dette prosjektet for å tilegne oss relevant erfaring fra industrien, og i tillegg få et innblikk i hvilke arbeidsoppgaver en automatiseringsingeniør har. I hovedsak går oppgaven ut på at vi skal oppgradere laboratoriet til prosessdataavdelingen hos Yara og at vi skal prosjektere og bygge en prosessmodell. Modellen skal, når den er ferdig, stå i laboratoriet og vil bli brukt til opplæring og testing. Prosjektet vil gå over 5. og 6. semester.

Laboratoriet består i dag av tre nettverk med servere, der programmene til Yaras Fullgjødsselfabrikk på Herøya ligger tilgjengelig. Nettverkene består også av kontrollmoduler, IO-moduler og ProPLUS-stasjoner. Modulene og styresystemet er av typen DeltaV, dette er et DCS-system fra leverandøren Emerson.

Modellen skal kobles opp slik at man kan bruke DeltaV til å styre modellen. Dette innebærer at det skal lages skjermbilder og programmere logikk for å regulere de forskjellige delprosessene i modellen. Ingen av gruppedeltakerne har erfaring med DeltaV fra tidligere, og det vil derfor bli nødvendig med opplæring i form av kurs hos Yara.

I tillegg til DeltaV-kurset vil 5. semesters-delen av prosjektet vil bestå i planlegging av prosessmodellen og laboratoriet.

Det vil utføres nødvendig planlegging av hvordan nettverkene med kontrollsystem skal kobles. Når det er utarbeidet en hensiktsmessig måte å koble opp nettverkene på, må det fastslås hvilke komponenter det er behov for og sende bestillinger på disse. Det skal også utarbeides en nettverkstopologi for laboratorienettverket, som blir et oversiktsbilde over oppkoblingen.

Prosessmodellen skal planlegges og prosjekteres. Det settes opp en fremdriftsplan, vist i Vedlegg B, som kontinuerlig oppdateres.

Først skal type prosessmodell velges, deretter må det lages nødvendige konstruksjonstegninger og koblingsskjemaer. Videre må det velges komponenter som har den funksjonaliteten som ønskes, i tillegg skal prosjektkostnadene holdes innenfor rammene i budsjettet. Det er ønskelig at det kan dras noen paralleller mellom prosessmodellen og prosessene som skjer i Yaras fabrikk, siden modellen senere vil brukes til opplæring. Det ønskes en modell som er mest mulig fleksibel slik at man senere kan få testet ut forskjellige DeltaV-funksjoner og logikk.

Gruppen har 50 000,00 kr til disposisjon, som skal holde både til oppgraderingen av laboratoriet og deler til modellen. Bestillingslister må leveres i 5. semester, siden dette skal være med i Yaras budsjett for 2011.

Kapittel 2 handler om samarbeidsbedriften i prosjektet som er Yara, hvilke interesseområder de har og hvilke produkter de leverer. Det blir også forklart hvordan samarbeidet mellom Prosessdataavdelingen til Yara og gruppa har vært.

Kapitel 3 gjennomgår komponenter som blir brukt i et prosessanlegg, hvilke prinsipper de bygger på og bruksområde til de ulike komponentene.

Kapitel 4 handler om kontrollsystemet DeltaV som er leveres av Emerson. Det ses på forskjellig hardware og software som benyttes av og i DeltaV. Kapitlet tar også for seg hvordan disse benyttes til å styre et prosessanlegg.

I kapitel 5 ser man på laboratoriets kontrollnettverk med tanke på oppkobling og funksjonalitet.

Kapittel 6 handler om den planlagte oppbyggingen og virkemåten til prosessmodellen.

Kapitel 7 handler om prosjektets økonomi og om prosessen rundt anskaffelse av tilfredsstillende komponenter innenfor prosjektets budsjettammer.

Kapittel 8 tar for seg sikkerhetsproblematikk tilknyttet drift av modellen og hvordan man oppdaget ukjente feil vha HAZOP

Kapittel 9 handler om gjenstående oppgaver som skal utføres i 6.semester.

Kapittel 10 oppsummerer det arbeidet som har blitt utført i 5. semester.

2 SAMARBEIDET MED YARA

Denne prosjektoppgaven er utarbeidet i samarbeid med prosessdataavdelingen til Yara, Herøya. Gruppen valgte å samarbeide med en lokal bedrift siden det ville gi en relevant oppgave i et faglig sterkt miljø.

2.1 Yara International

Yara International ASA har over 7300 ansatte i mer enn 50 land og er verdens største leverandør av mineralgjødsel. Mineralgjødsel gjør det mulig og lønnsomt å drive jordbruk selv i næringsfattig jord og er et nødvendig hjelpemiddel for å øke eller opprettholde avlingsnivået avhengig av intensiteten i jordbruket.[5][6]

2.2 Yara Porsgrunn

Porsgrunn fabrikk ble grunnlagt i 1928 med produksjonsstart i 1929. I 1936 kom den første flerkomponent gjødseltypen fra Herøya. Et nytt produksjonsanlegg for denne typen mineralgjødsel, kalt Fullgjødsel startet opp i 1938. Yara har Fullgjødsel som et registrert varemerke. 95 % av all mineralgjødsel brukt i Norge i dag er Fullgjødsel.

Yara har ca 800 ansatte i ved anlegget i Herøya Industripark. Yara Porsgrunn er Yaras største produksjonssted for NPK-gjødsel og har produsert rundt 70 forskjellige typer. Kunder i mer enn 50 land får tilpasset produkt etter behov og 95 % av produksjonen blir eksportert.

Det utvikles stadig nye produkter og de eksisterende blir forbedret. Dette skjer på Yaras eget forskningssenter på Herøya.[6][7]

2.3 Samarbeidet

Det eksisterende laboratoriet til Yaras prosessdataavdeling skal oppgraders og det skal lages en prosessmodell i tilknytning til dette. Det var opp til gruppen å komme med forslag til modell. Blant disse alternativene var en modell for transport av pellets vist i Vedlegg L, og en olje/vannseparator som vist i Vedlegg M. I samarbeid med Yara kom gruppen frem til at det skal lages en nivåreguleringsmodell. Førsteutkastet til denne er vist i Vedlegg K.

En nivåreguleringsmodell har mange likheter med prosesser på Herøya og man kan enklere teste nye reguleringsmetoder på en slik modell enn i fabrikkene.

Yara har mange dyktige fagfolk som har kommet med innspill til modellens virkemåte og oppbygning av laboratoriets kontrollnettverk. Dette har gjort oppgaven utfordrende men gjennomførbart. De ser muligheter for å utvide modellens funksjonalitet ved å legge til flere reguleringsfunksjoner.

Yara har sammen med gruppen utført en risikoanalyse for modellen, noe som skal sikre at man har tatt hensyn til alle faremomenter rundt hver enkelt del av prosessen.

Gruppemedlemmene har fått et innføringskurs i DeltaV av Yara hvor man lærte å opprette en database og designe enkel logikk. Kurset gikk ut på at det ble gjort en rask felles innføring på hvert emne, for så å gjøre noen enkle oppgaver ut fra det som ble vist.

Dette har gitt et godt grunnlag for DeltaV-programmering, men ytterligere arbeid med systemet blir nødvendig for å kunne designe en god programstruktur.

Kommunikasjonen mellom gruppen og Yara har gått bra. Kontaktpersoner har vært de samme gjennom hele semesteret og det har aldri vært problem med å få hjelp eller klarhet i problemstillinger underveis.

3 TEORIGRUNNLAG

Ved bygging av et prosessanlegg, eller som i dette prosjektet en prosessmodell, er det nødvendig med mange forskjellige typer komponenter for å lage en sammenhengende prosess.

De største fysiske komponentene er rør og tanker. I et industrianlegg vil disse i stor grad være laget av stål i ulike kvaliteter, avhengig av hvilke stoff som blir prosessert og transportert i anlegget. I anlegg som behandler aggressive stoff som syrer og sjøvann brukes det ofte plastmaterialer eller glassfiber.

For transport av væske og gass i et prosessanlegg brukes pumper og kompressorer. Hvilken type som blir brukt avhenger av ønsket gjennomstrømning og trykk. Virkemåten deles inn i to kategorier, rotasjon og fortrengning. Rotasjonspumper leverer vanligvis større mengde og mindre trykk enn fortrengningspumper.

For å kunne overvåke og regulere et anlegg er det behov for instrumenter og ventiler. Instrumentene blir som driftspersonellets øyne i prosessen. Hele anlegget blir styrt etter disse for å oppnå riktig produktkvalitet, enten det er pasteurisering av melk på et meieri eller oktantallet til bensin på et oljeraffineri. For å gjøre endringer i en prosess brukes det ventiler, enten reguleringsventiler eller Av/På-ventiler.

3.1 Ventiler

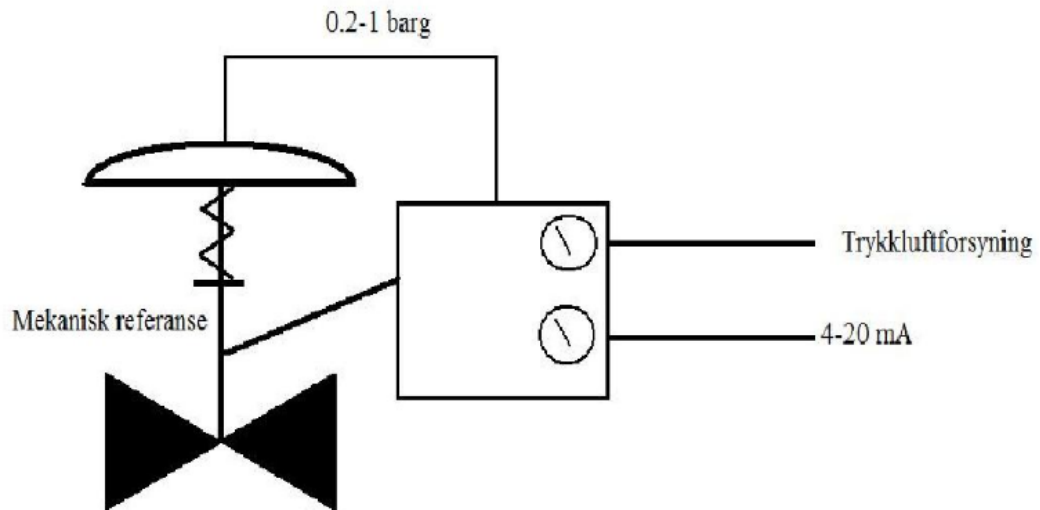
Dette underkapitlet er basert på referanse[2]. For å operere, styre og beskytte et prosessanlegg trenger man ulike typer ventiler. Vanlig kategorisering er reguleringsventil og avstengningsventiler. Hvilken ventiltype en skal velge, bestemmes av mediet den skal brukes på og hvilket trykk mediet har.

De vanligste typene er:

- Plugg/sete -ventil
- Kuleventil
- Gateventil
- Spjeldventil

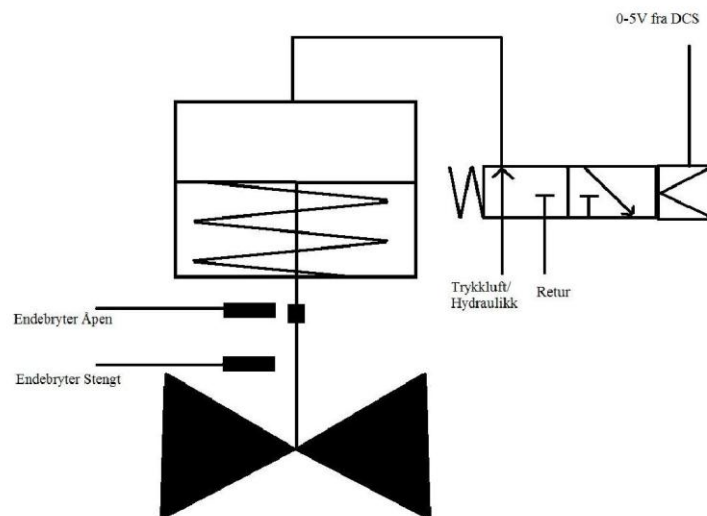
Ventiler opereres enten automatisk eller manuelt. Til operasjon av automatiske ventiler trenger man energi. Det vanligste er å benytte elektrisitet, hydraulikk eller pneumatikk. For å overføre energien til operasjon av ventilen benyttes en aktuator. Virkemåten til hydraulikk- og pneumatikk-aktuatorer følger samme prinsipp som for et stempel i en sylinder. Aktuatorer er enten dobbeltvirkende, eller enkeltvirkende med fjærretur. I prosessindustrien er luftdrevne aktuatorer vanligst, siden trykkluft er billig å produsere og medfører ingen eksplosjonsfare hvis installert i lettantennelige omgivelser. På rørsystemer med høyt trykk brukes ofte hydraulikk siden en har større kraft per sylinderareal enn pneumatikk.

Hvilken posisjon en reguleringsventil skal ha er bestemt av regulatorutgangen. I industrielle kontrollsystem er det vanlig å bruke 4-20 mA signal for analoge IO. For å omforme strømsignalet slik at det kan styre en luftaktuator brukes en I/P-omformer. Den omformer 4-20 mA lineært til 0,2-1 barg. Tidligere var en kombinasjon av I/P-omformer og aktuator vanlig. Denne kombinasjonen har en stor svakhet. Over tid vil man få større friksjon i selve ventilen og det blir behov for mer kraft til å operere den. For å kompensere for dette problemet brukes en ventilstiller som ofte har integrert I/P-omformer. Den har et forsyningstrykk som er høyere og er fysisk koblet tilkoblet ventilspindelen. Oppgaven er å korrigere reell posisjon til ønsket posisjon ved å øke trykket til aktuatoren. Skisse av reguleringsventil illustrert i Figur 3-1



Figur 3-1 Reguleringsventil

Automatiserte Av/På-ventiler har ikke mulighet for posisjonsregulering. De har derfor en enklere styringsoppbygging. Det brukes en pilotventil som styres av en liten elektromagnet for å tilføre luft eller hydraulikk til aktuatoren. Hvis effektbehovet på elektromagneten er lavt, aktiveres den direkte av en DO fra styresystemet. For å indikere posisjonen til ventilen brukes induktive- eller kapasitive-sensorer som er knyttet opp mot styresystemet som vist i Figur 3-2. Av/På-ventiler benyttes bl.a. i sikkerhetsfunksjoner og sekvensstyrte prosesser.



Figur 3-2 AV/PÅ-ventil

Manuelle ventiler er mye brukt der en ikke har behov for automatisk styrte ventiler. Det kan være på utstyr som sjelden opereres eller på anlegg hvor en ikke benytter kontrollsystem. Man bruker ofte en manuell reguleringsventil parallelt med en DCS-styrt reguleringsventil. Den brukes ved feil eller vedlikehold på den DCS-styrte ventilen.

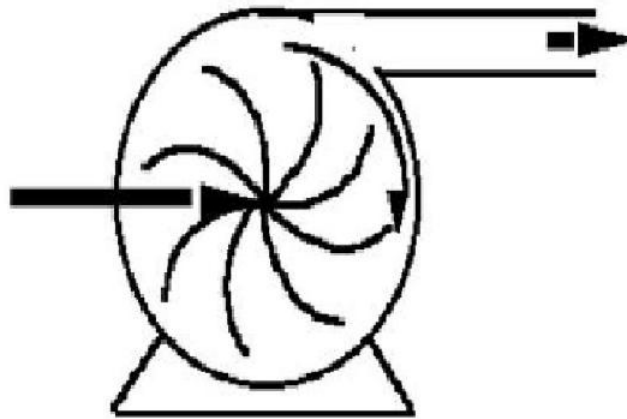
3.2 Pumper

Dette underkapitlet er hovedsak basert på referanse[2]. For å transportere væske i rørledninger benyttes pumper. Hvilke type pumpe som skal benyttes avhenger av mengden den skal levere,

sugehøyde og leveringstrykk. Den teoretiske virkemåten til en pumpe er at den transporterer væsker fra et lavt punkt til et høyere punkt og på den måten økes den potensielle energien til væsken. Prinsippet er enkelt og bruksområdet er stort. Pumper brukes til alt fra å sirkulere kjølevann i en bilmotor til å pumpe olje fra en plattform til en tankbåt. I et prosessanlegg er det en utbredt bruk av pumper.

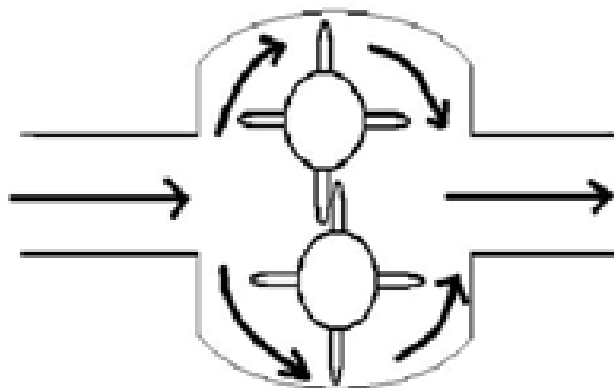
Hvilken virkemåte en pumpe har, deles opp i to hovedkategorier. De bygger på sentrifugalprinsippet og på væskefortrenningsprinsippet.

En sentrifugalpumpe som, vist i Figur 3-3, består av et pumpehjul som roterer med høy hastighet, plassert i et pumpehus. Den får tilført væske i sentrum av pumpehjulet og øker væskens hastighet. På utløpet av pumpehuset er det en tverrsnittsreduksjon, slik at hastigheten blir omgjort til trykk. En sentrifugalpumpe brukes der en har behov for høy gjennomstrømning og lavt trykk.



Figur 3-3 Sentrifugalpumpe

En fortrenningspumpe, er basert på bevegelse som fysisk fortrenner væske. Det kan være et stempel som beveges eller skruer som roterer. Fortrenningspumper leverer mindre mengde, men høyere trykk enn sentrifugalpumper. Bruksområder er bl.a. dosering av kjemikalier. Skisse av fortrenningspumpe illustrert i Figur 3-4



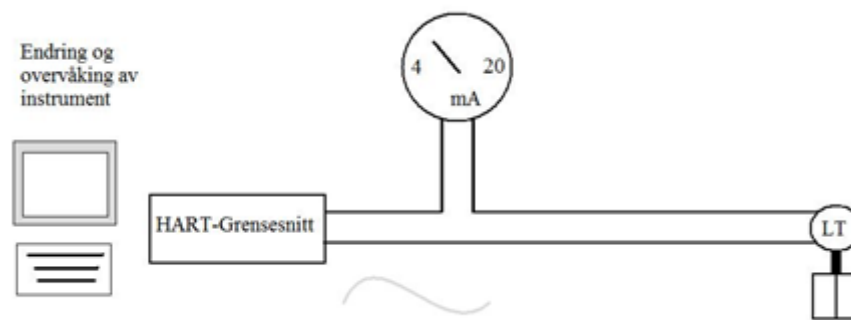
Figur 3-4 Fortrenningspumpe

Et mye brukt prinsipp er å bruke elektromotorer til å drive pumper. Motoren og pumpen er koblet sammen med en aksling. Ofte roteres pumpen med konstant hastighet, mens man regulerer utløpstrykk/mengde med en ventil. Dette er ikke kostnadseffektivt, siden det gir unødvendige energikostnader og slitasje på reguleringsventilen. Ved å benytte frekvensomformerer på AC-motorer unngår man dette, da man regulerer hastigheten til motoren med denne. Pumpa vil da fungere som pådragsorganet i en reguleringsløyfe. En kan også

hastighetsregulere DC-motorer. Da kan man benytte PWM, som er en binærsekvens over en gitt syklustid. Denne gir ”logisk 1” i perioder innenfor syklusen som er bestemt av 4-20mA-signalet som styrer PWM-modulen.[3]

3.3 Sensorer

Dette underkapitlet er basert på referanse [12]. Når man skal styre og overvåke en prosess er man avhengig av å vite hva som skjer i prosessen. Til dette trenger man sensorer, kalt transmittere i industriell terminologi. Transmitteren måler fysiske variabler og omformer dem til signal som kan brukes i styresystemet. Vanlige signaltyper fra en transmitter er analoge 4-20 mA og pulssignaler. I tillegg finnes det smart-transmittere som benytter HART-protokoll. Denne protokollen gir mulighet for digital kommunikasjon mellom kontrollsystemet og transmitteren. Måten det blir gjort på er ved frekvensskifting over det analoge signalet. Ved bruk av HART kan man gjøre endringer i transmitteren uten at det skaper problem for det analoge målesignalet. Endringer kan være å endre måleområde eller øke filtertidskonstant. En har også mulighet for avlesning av alarmer fra et instrument. Skisse av instrumentloop med HART vist i Figur 3-5



Figur 3-5 Instrumentloop med HART-kommunikasjon

3.3.1 Trykk

Dette underkapitlet er basert på referansen [12]

Måling av trykk baseres på Formel (3-1):

$$p = \frac{F}{A} \rightarrow \frac{N}{m^2} \quad (3-1)$$

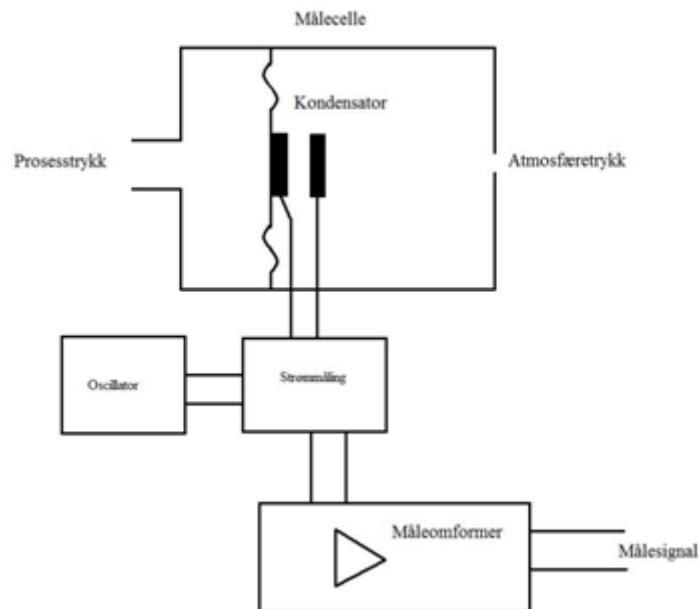
Trykk(p) er oppgitt i Pascal og er gitt av krefter (F) over areal(A). En Pascal tilsvare 1*10⁻⁵ bar.

Den mest brukte trykkmåleren for industrielle kontrollsystemer er bygd etter dette prinsippet. Trykkmåleren har en membran med et gitt areal som er koblet mot prosessen hvor trykket skal måles. På andre siden av membranen har man atomsfæretrykk som referansetrykk til måleren. Ved endring av statisk trykk prosessen vil membranen bevege seg. For å få trykket omformet til et analogt spenningsignal, brukes bl.a. kondensatorprinsippet. Den ene platen i kondensatoren beveger seg parallelt med membranen, mens den andre platen står fast.

Kapasitansen endres etter formel(3-2):

$$C = \varepsilon \cdot \frac{A}{\Delta l} \quad (3-2)$$

En spenning med fast frekvens generert av en oscillator påtrykkes kondensatorens plater. Strømmen gjennom kondensatoren vil endre seg avhengig av reaktansen. Ved endring i trykk vil man få endring av reaktans som igjen vil gi endring av målt strøm i kretsen. Strømmen blir omgjort til målesignal i en måleomformer. Skisse av trykksensor med måleomformer vist i Figur 3-6



Figur 3-6 Trykksensor

En slik trykksensor benyttes til måling av gasstrykk i en tank. Andre bruksområder er nivåmåling ved å måle trykket av en hydrostatisk væskesøyle. Hvis tanken er åpen mot atmosfære vil trykket av væskesøylen være gitt av formel(3-3):

$$p_h = h \cdot \rho \cdot g \quad (3-3)$$

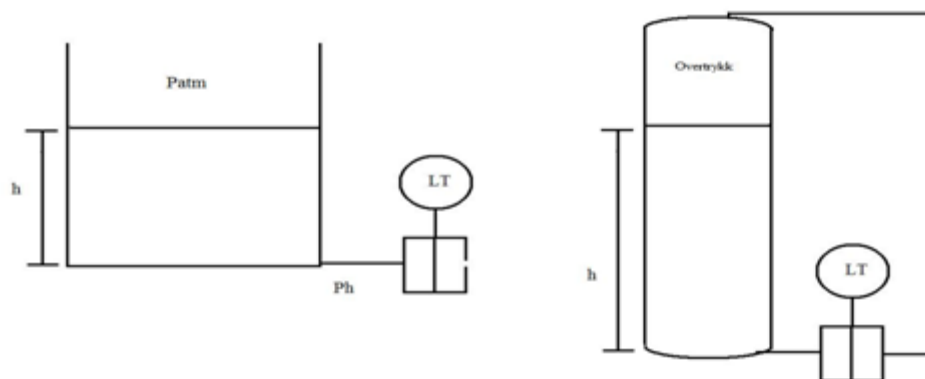
Man har da atomsfærisk trykk over væskespeilet og som referansetrykk på måleren. Skisse av nivåmåling vist i Figur 3-7

Dette måleprinsippet fungerer ikke hvis en har en lukket tank. Da vil en få trykkoppbygging inni tanken på grunn av avgassing eller nivåendring. For å kompensere for dette trykket må man måle det. Da kan man benytte en egen sensor for å måle trykket i tanken over væskespeilet og trekke det fra trykket som blir målt i bunnen av tanken. For denne type måling er det vanlig å bruke en differansetrykksmåler. Trykket målt i bunnen av tanken er gitt ved formel (3-4)

$$p = (h \cdot \rho \cdot g) + p_{over} \quad (3-4)$$

Nivået er gitt av formel(3-5) ved å trekke fra overtrykket målt over væskespeilet.

$$p_h = p - p_{over} \quad (3-5)$$



Figur 3-7 Nivåmåling

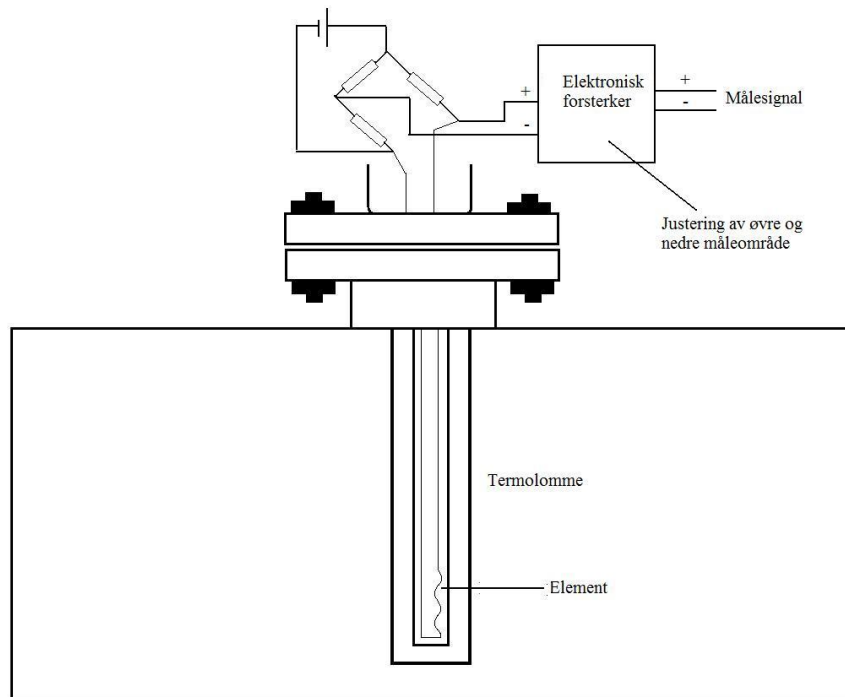
3.3.2 Temperatur

Dette underkapitlet er basert på referanse [13]. Hvilken temperatur et stoff har, sier oss noe om molekylaktiviteten i stoffet. Ved å måle temperatur kan man vite når et oppholdsrom er varmt nok eller om et stoff vil reagere i en prosess. Siden temperatur er en viktig styringsparameter blir temperaturmåling mye brukt.

Til temperaturmåling brukes hovedsaklig motstandsfølere som PT-100-element, men også andre metoder som termoelement og pyrometer blir brukt.

For å måle temperatur med PT-100 element benyttes forholdet mellom temperatur og spesifikk resistans i metallet. For platina er dette forholdet lineært og kan derfor brukes for temperaturmåling over et stort område. Selve elementet er innstøpt i glass eller keramikk, rundt dette materialet ligger en beskyttende metallkappe. Elementet brukes ofte sammen med en termolomme, hvis det blir brukt i prosesser hvor det ikke kan byttes under normal drift. Termolommen vil gjøre at elementet får større tidskonstant ved temperaturendring, siden elementet er omgitt av mer masse som må varmes opp eller kjøles ned. Skisse av PT-100-element vist i Figur 3-8

For å utnytte motstanden i elementet til måling brukes en Wheatstones målebro, der en sammenligner en kjent motstand med motstanden i elementet. Så lenge motstandene i målebroen ikke er balansert, vil det gå en strøm i gjennom broa. Strømmen gjennom broen vil endre seg med motstanden og den blir omformet til et målesignal som går til styresystemet.



Figur 3-8 PT-100-element

3.3.3 Flow

Dette underkapitlet er basert på referanse [13]. Flow er på norsk gjennomstrømming. Med det mener man stoffvolum per tidsenhet [m^3/h] eller masse per tidsenhet [kg/h]. Flow er en viktig styringsparameter for dosering, blanding og levering av stoff. Hvilken type flowmåling som skal benyttes er avhengig av om det er fast stoff, væske eller gass. Målenøyaktighet er også viktig for hvilke måleprinsipp som skal velges.

Siden prosjektmodellen er basert på væsketransport, blir væskemåling gjennomgått.

Et mye brukt måleprinsipp for mengde i industrianlegg er basert på trykkmåling. Ved å ha en innsnevring i prosessrøret vil man få en varig trykkreduksjon og en økning i hastigheten til væsken. Til innsnevring brukes en måleblende, som kan være en plate med et hull med mindre diameter enn prosessrøret. Dette henger sammen med at energien er konstant før og etter innsnevringen. Formelen for energibalans er vist i (3-5):

$$E_p + E_k = pV + \frac{1}{2}\rho V v^2 \quad (3-5)$$

p - Trykk [N/m^2]

V - Volum [m^3]

ρ - Tetthet [kg/m^3]

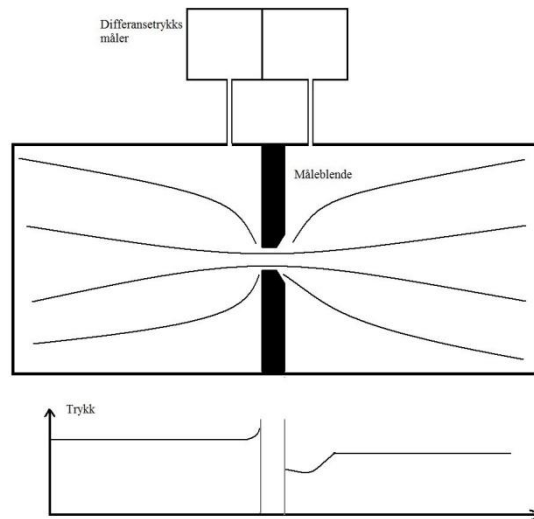
v - hastighet [m/s]

E_p - Potensiell energi [J]

E_k - Kinetisk energi [J]

Når diameteren i røret og hullet i måleblenden er gitt sammen med strømmingstallet Vedlegg J kan man fra differansetrykket kalkulere gjennomstrømmningen.

Skal målingen gi god målenøyaktighet må væskestrømmen være fri for gassbobler, stasjonær og ha konstant tetthet. Det vil si at en ikke uten videre kan montere en slik måler rett etter en stempelpumpe som vil gi pulserende strømning. Fordelen med differansetrykkmåling er at den har en enkel konstruksjon og er lett å kalibrere. Skisse av måleblende vist i Figur 3-9



Figur 3-9 Måleblende

Stiller man høye krav til målenøyaktighet som ved måling av salgsprodukt brukes gjerne en turbinmåler. Den består av en rotor som er montert i røret. Rotasjonshastigheten til rotoren er proporsjonal med væskehastigheten gjennom måleren. For å måle hastigheten brukes en detektor som generer en puls for hver omdreining av rotoren. Pulssignalet blir brukt til å kalkulere mengden ved at en vet volum/puls, kalt k-faktor. Skal måleren gi ønsket målenøyaktighet må væskestrømmen være fri for skrubevegelse som oppstår når en har rørbend i forkant av måleren. For å hindre skrubevegelse benyttes rette rør i forkant av måleren.

En enklere rotasjonsmåler brukes til måling av kjemikalier og små væske mengder, som på modellen.

4 STYRESYSTEMET

Yara har i senere tid oppgradert til DeltaV styresystem fra Emerson Process Management. Det er derfor naturlig at DeltaV benyttes til å styre prosessmodellen som skal bygges i dette prosjektet.

4.1 DeltaV

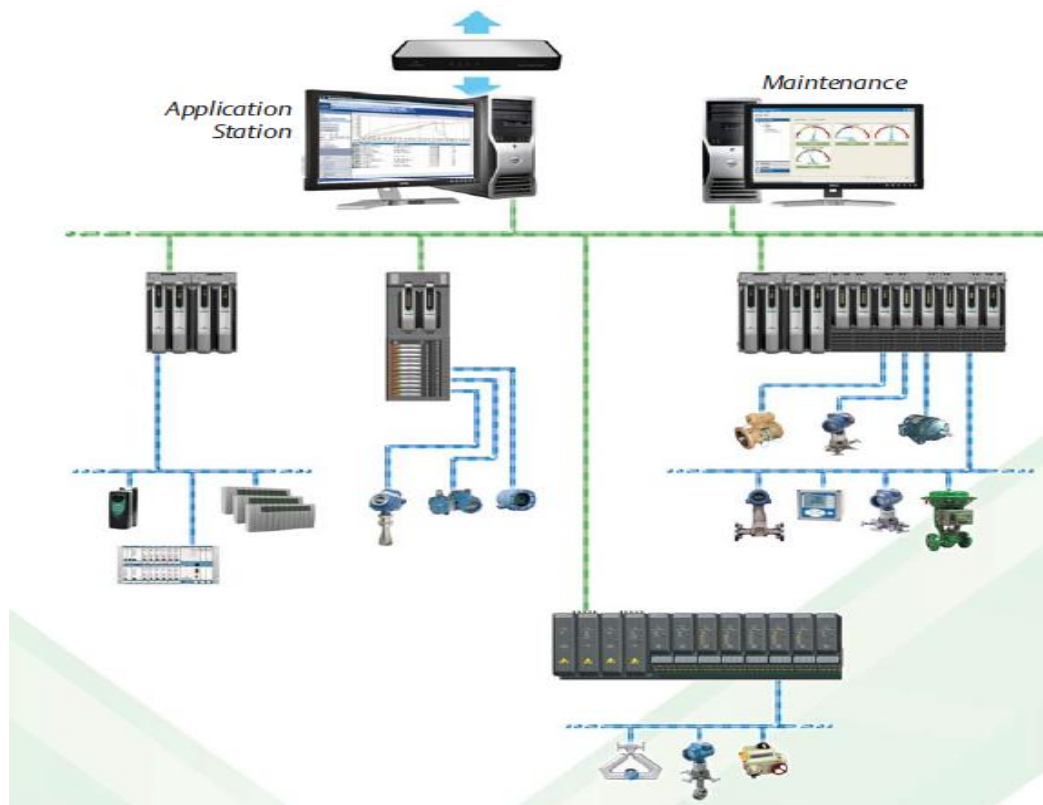
DeltaV er et DCS-system som bruker standard PC-maskinvare til brukergrensesnitt. DCS er et desentralisert kontrollsystem hvor flere kontrollere med tilhørende komponenter er koblet i nettverk slik at de forskjellige komponentene kan kommunisere, overvåkes og kontrolleres med et felles system.[9]

4.1.1 Bruksområder

DCS-systemer, som DeltaV, er systemer som er brukt til å kontrollere produksjonsprosesser som for eksempel gjødselproduksjon, oljeraffinering eller sementproduksjon. Prosessene kan enten være kontinuerlige eller partorienterte (batch-produksjon). Systemet er koblet til sensorer og aktuatorer spredt rundt i prosessen og bruker settpunktkontroll for å styre materialflyten gjennom fabrikken. Trykk, temperatur og gjennomstrømning er de vanligste parametrene å måle/regulere. Man får målingsverdiene fra de forskjellige sensorene sendt til styresystemet som gjennom en regulator eller definert logikk avgjør om man for eksempel skal åpne eller stenge en ventil slik at prosessen skal nærme seg ønsket settpunkt.[10]

4.1.2 Bakgrunn

DeltaV inngår i PlantWeb strukturen til Emerson som hjelper deg til å detektere problemer med operasjoner, prosesser eller utstyr før de oppstår. Dette gjør at man kan jobbe proaktivt med prosesser eller vedlikehold noe som sikrer høyere oppetid på anlegget som igjen gir økte driftsinntekter. Eksempel på PlantWeb strukturen er vist i Figur 4-1[9]



Figur 4-1 Eksempel på PlantWeb-struktur [9]

4.1.3 Maskinvare

Dette underkapitlet er basert på referanse [8]. Maskinvaren illustrert i Figur 4-2 kan bestå av en eller flere DeltaV arbeidsstasjoner, et kontrollnettverk, strømforsyninger, en eller flere kontrollere, IO-moduler og en systemidentifikator.

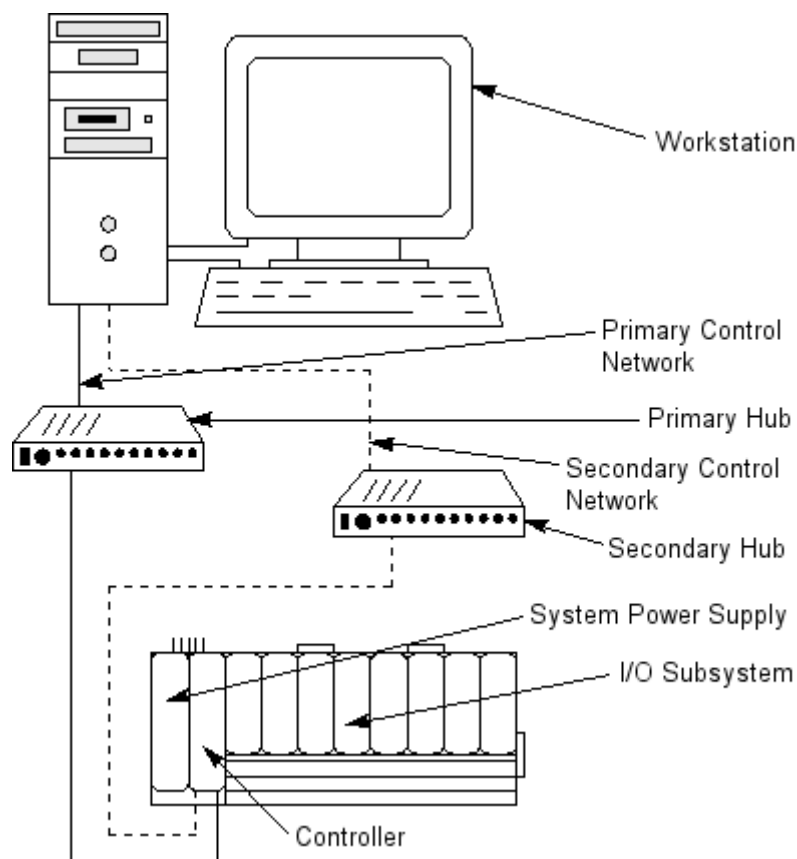
DeltaV har flere forskjellige typer arbeidsstasjoner med forskjellig lisensiering. En ProPLUS-stasjon er obligatorisk for hvert system og er en databasenode som inneholder alle konfigureringer av systemet. Dersom man ønsker å benytte andre programmer/funksjoner enn de DeltaV tilbyr (utenom Microsoft Excel), må man bruke en "Application"-stasjon med OPC som grensesnitt til fabrikknettverket. Andre typer arbeidsstasjoner er:

- Profesjonell stasjon - som kan konfigurere og operere systemet
- Operatørstasjon - som kun kan operere systemet
- Vedlikeholdsstasjon - som kan kjøre systemdiagnostikk
- Base stasjon - hvor man kan velge nødvendig funksjonalitet

Kontrollnettverket er et isolert Ethernet LAN som gir kommunikasjon mellom arbeidsstasjonene og kontrollerne. Nettverket er designet for å være redundant for på den måten å øke påliteligheten til kommunikasjonen. Redundans oppnås ved å benytte to uavhengige kontrollere med hver sin strømforsyning. I tillegg vil redundans gjøre det mulig å gjøre arbeid på kontrollerne (for eksempel oppgradering av programvare og lignende) uten å måtte stoppe produksjonen.

Hver kontroller har en egen strømforsyning og minst en IO-modul montert på et rack som vist i Figur 4-2. Strømforsyningen forsynes enten med linjespenning eller spenning fra en annen hovedstrømforsyning. Denne spenningen omformes til 12 VDC for å drive styringsenheten og IO-modulene. Kontrolleren inneholder all logikk og regulatorer med mer. Den er koblet til feltinstrumentene gjennom IO-modulene og til kontrollnettverket ved bruk av standard Kategori5(e) ScTP-kabel, dersom avstanden mellom ethernetportene er mindre enn 100m. For avstander opptil 2 km kan man benytte fiberoptiske porter og switcher. Fiberoptikk er også å foretrekke i områder med mye elektromagnetisk støy eller for kommunikasjon mellom bygninger.

Systemidentifikatoren, som følger med lisenspakken, er en konnektor som settes i parallellprinterporten eller en USB-port på ProPLUS-stasjonen. Den gir hvert DeltaV-system en unik ID som gir deg lov til å gjøre endringer på systemet.



Figur 4-2 Eksempel på DeltaV maskinvare[8]

4.1.4 Programvare

Dette underkapitlet er basert på referanse [8]. DeltaV består av ulike typer underprogrammer. Noen av disse programmene beskrives kort her:

Control Studio: Benyttes til å designe og modifisere ulike moduler og maler som programstrukturen består av. Her kan du grafisk lage en kontrollmodul ved å dra blokker fra det innebygde biblioteket i DeltaV.

Explorer:

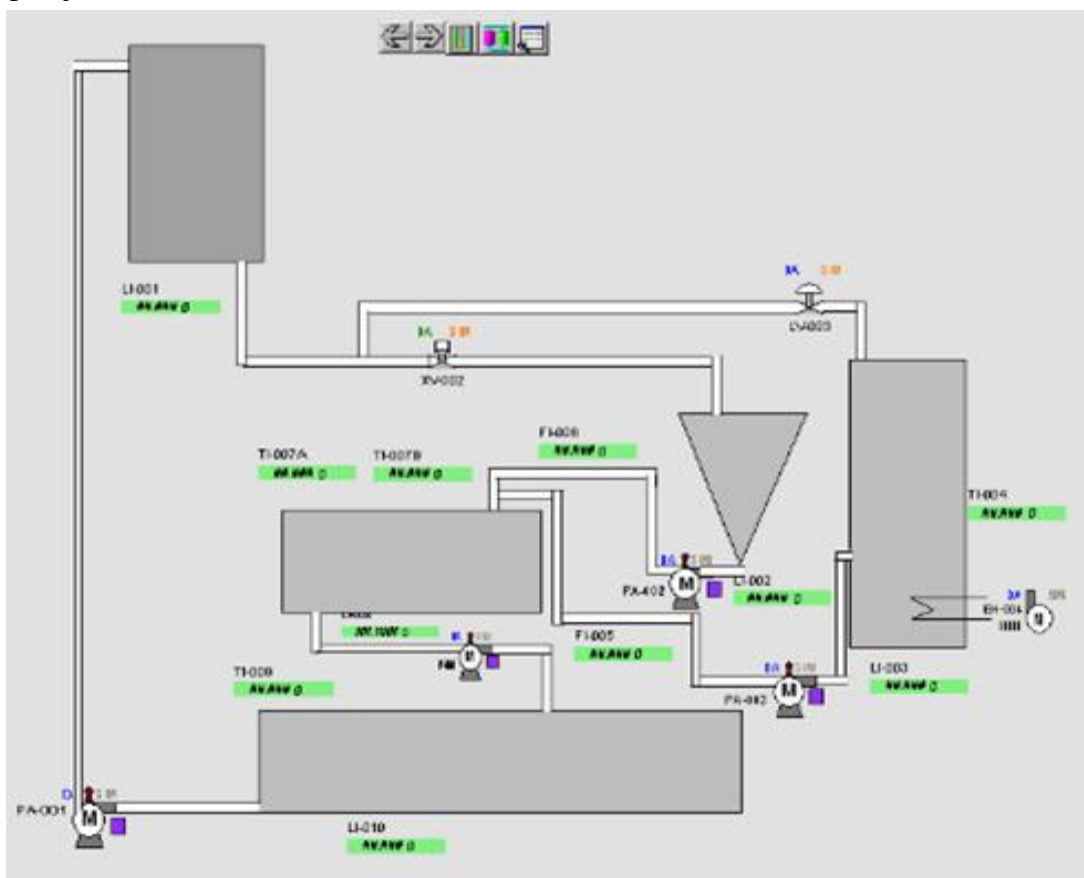
Minner om Windows Explorer og gir deg mulighet til å konfigurere maskinvaren tilkoblet DeltaV-systemet på en oversiktlig måte. Her kan man også lage, flytte eller kopiere moduler eller definere prioritet på alarmer.

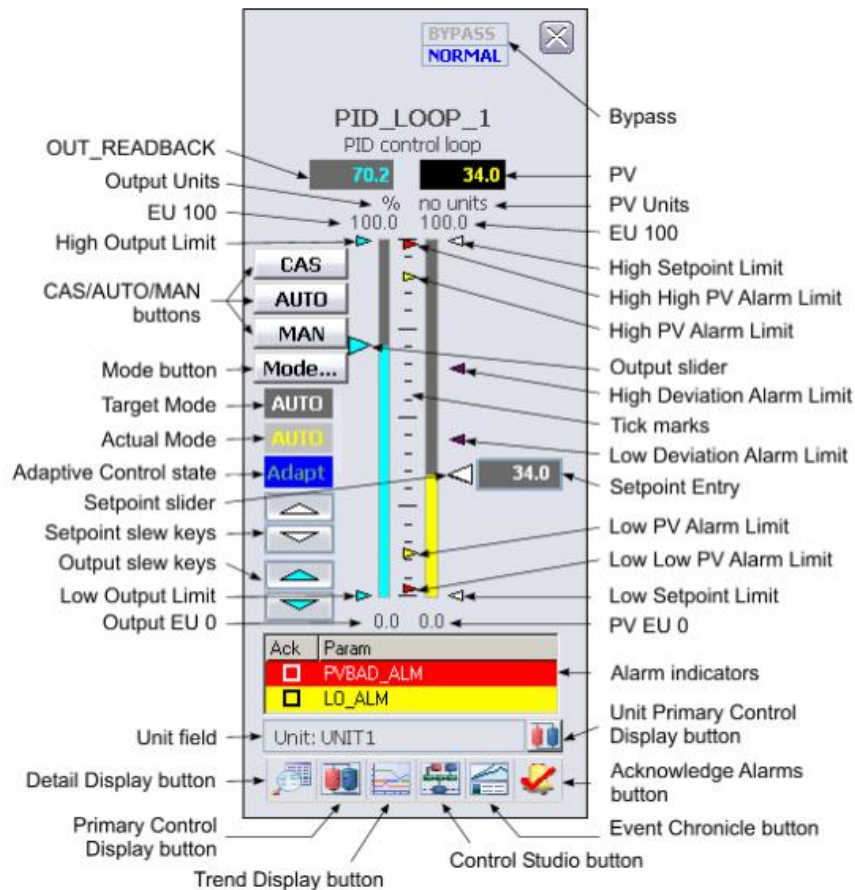
Operate:

Har to modi. I "Configure" kan man legge grafikk, lyd og animasjoner inn i prosessens grafikk i sanntid. I "Run" bruker operatører denne grafikken som brukergrensesnitt til overvåkning og vedlikehold av prosessen.

4.2 HMI

HMI-en er brukergrensesnittet i styringssystemet, så i en prosess er det viktig at denne gir relevant informasjon til operatøren. Objektene bør være plassert slik at man enkelt kan kjenne igjen den fysiske prosessen. Figur 4-3 viser et oversiktsbilde fra HMI-en til hele prosessmodellen i dette prosjektet.





Figur 4-4 PID-faceplate[8]

For å få brukt faceplaten må de ulike knapper og indikatorer knyttes opp mot en DST. En DST består av en device tag, som representerer følere, ventiler eller andre felt-instrumenter, og et spesifikt signal fra den enheten. Siden DeltaV er et DCS-system så holder det å definere DST-er et sted i programmet. Så hvis alle DST-ene er definert på forhånd, går det raskt å knytte faceplaten opp mot disse.[8]

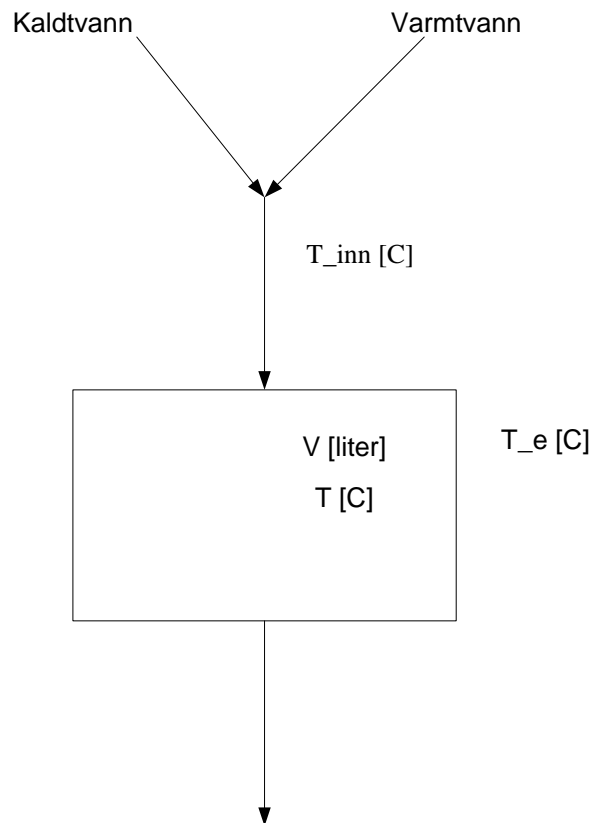
4.3 Plan for program

Tankene beskrevet referer til P&ID i Vedlegg E. I denne prosessen er vanntemperaturen i blandetanken produktet. Det vil derfor være viktig å regulere systemet slik at denne ligger så nær settpunkt som mulig. For å få til dette må blandingsforholdet mellom kaldtvann og varmtvann være riktig. I tillegg må ikke gjennomstrømningen være for stor, siden det vil ta noe tid å varme opp vannet i TA-004. Det har vært et ønske fra Yara at tidskonstanten i miksetanken skal være to minutter, slik at prosessen blir interessant å følge med på. Det blir en lite underholdende prosess hvis det tar alt for lang tid før temperaturen reguleres inn.

4.3.1 Blandingsforhold

Hvis vi kaller kaldtvann for a , og varmtvann for b , kan vi si at blandingsforholdet blir: $a + b = 1$. Ut fra dette kan vi se at hvis $a=0$ blir $b=1$ og det renner bare varmtvann inn i blandetanken (TA-005). Tilsvarende hvis $b=0$, renner det bare kaldtvann inn i blandetanken illustrert i Figur 4-5.

Ratio funksjonsblokka i DeltaV kan brukes til denne reguleringen. Den blir normalt brukt til å kjøre en sekundær strøm inn til et settpunkt som er en bestemt andel av en primærstrøm

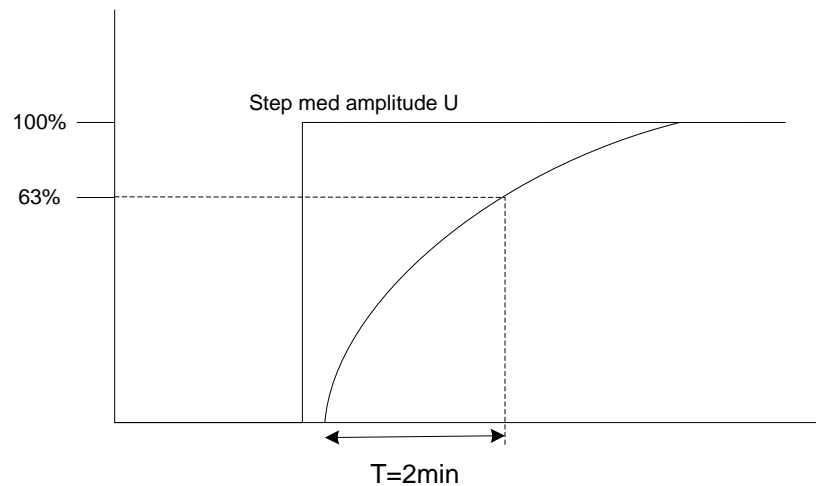


Figur 4-5 Prinsippkisse av blandingstanken

For å lage forskjellige ”produkter”, altså forskjellige temperaturer i blandetanken, kan man ha et gitt blandingsforhold mellom TA-003 og TA-004. Det blir da temperaturen i TA-004 som må reguleres for å få ønsket temperatur raskere.

4.3.2 Tidskonstanten

Tidskonstanten er tiden det tar fra prosessverdien begynner å endres til den har nådd 63.2 % av ønsket verdi, som vist i Figur 4-6.



Figur 4-6 Tidskonstant

Det er flere variabler i prosessen som er med å bestemme tiden det tar å endre temperaturen. Det kan derfor være nyttig å vite noe om forholdene mellom ønsket temperatur i tanken, temperaturen før endring, volum i tanken og gjennomstrømning. Dette kan utledes fra $e = mc_v T$. Hvor e er energi [J], c_v er spesifikk varmekapasitet [J/(kg*K)], m er masse i tanken [kg], \dot{m} [kg/s] og T er temperatur [°K]. Endring av energi i blandetanken kan uttrykkes som vist i formel (4-1). Energiendring inn i tanken og ut av tanken er vist i formel (4-2) og (4-3). Resultatet av disse sammenhengene vises i formel (4-4).

$$\frac{de}{dt} = \dot{e}_{inn} - \dot{e}_{ut} \quad (4-1)$$

$$\dot{e}_{inn} = \dot{m}c_v T_{inn} \quad (4-2)$$

$$\dot{e}_{ut} = \dot{m}c_v T \quad (4-3)$$

$$\frac{d(mc_v T)}{dt} = \dot{m}c_v T_{inn} - \dot{m}c_v T \quad (4-4)$$

Snur om på formelen, utledet i (4-5).

c_v =konst, m =konst, \dot{m} =konst

$$\begin{aligned} \frac{dT}{dt} &= \frac{\dot{m}}{m} (T_{inn} - T) & (4-5) \\ \frac{dT}{(T_{inn} - T)} &= \frac{\dot{m}}{m} dt \\ \int_{T_0}^T \frac{dT}{(T_{inn} - T)} &= \int_0^t \frac{\dot{m}}{m} dt \\ -\ln\left(\frac{T_{inn} - T}{T_{inn} - T_0}\right) &= \frac{\dot{m}}{m} t \\ T_{inn} - T &= (T_{inn} - T_0)e^{-\frac{\dot{m}}{m}t} \end{aligned}$$

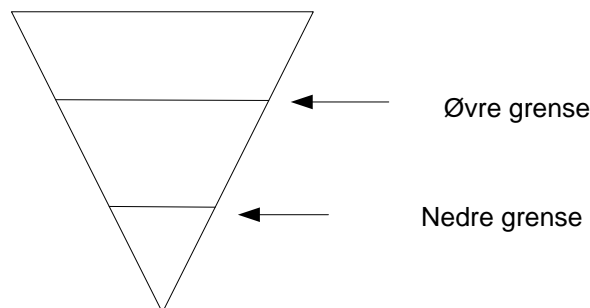
Formelen for temperatur over tid er gitt i (4-6). Denne finnes med parametrene: Temperatur inn, Temperatur ved tidspunkt 0, massen og massestrømmen i tanken og tiden.

$$T = T_{inn} - (T_{inn} - T_0)e^{-\frac{\dot{m}}{m}t} \quad (4-6)$$

Når disse formlene er kjent, kan de legges inn som funksjoner i programmet. Programmet kan så regne ut nødvendig gjennomstrømningshastighet ved et gitt nivå for å regulere inn temperaturen med ønsket tidskonstant.

4.3.3 Regulering i de ulike tankene

TA-003 er en kjegleformet tank. Innløpet i tanken reguleres av en Av/På-ventil. Nivået skal reguleres slik at det holder seg innenfor et gitt nivå, i mellom øvre og nedre grense som vist i Figur 4-7. Når nivået synker under nedre grense skal ventilen på innløpet stå åpen inntil nivået når øvre grense.



Figur 4-7 Øvre og nedre grense i TA-003

TA-004 skal ha både temperaturregulering og nivåregulering. Nivået blir målt ved hjelp av en trykktransmitter i bunn av tanken, og regulert av en reguleringsventil på innløpet. Temperaturen i tanken blir målt av en temperaturtransmitter som alltid er nedsenket i væske.

I reservoartanken, TA-001, vil nivået og temperaturen bli målt. I systemet er det ingen kjøling av vannet, slik at over tid vil temperaturen i hele systemet øke. Med temperaturmåling i reservoartanken vil man kunne følge med på utviklingen av dette. Nivåmålingen kan brukes til å lage en funksjon som detekterer lekkasjer ved å summere det totale volumet i systemet. Tanken er en liggende sylinder. Det må derfor lages en omregningsfunksjon i programmet som kalkulerer volumet i tanken ut fra nivået.

TA-002 har nivåregulering. På samme måte som i de andre tankene blir nivået målt ved hjelp av trykkføler under tanken. Denne tanken er en stående sylinder. Her er volumet gitt ved $\text{areal} \cdot \text{høyde}$, der høyden er vannivået i tanken.

4.3.4 Nivåmåling ved hjelp av trykksensor

Det skal benyttes trykktransmittere til å måle nivået i de forskjellige tankene. For å kunne regulere nivåene tilfredsstillende, må man vite trykket i bunnen av tankene. Formel (4-7) viser beregning av trykk avhengig av høyde:

$$p = \gamma * h \quad (4-7)$$

Hvor:

p = trykk

γ = spesifikk vekt av væsken, $\gamma = \rho g$

h = høyde/dybde

Siden den spesifikke vekten på vann er 9790 N/m^3 ved 20°C blir trykket $p = 9790 * h[\text{Pa}]$. For å oppnå et trykk på 1 bar må man ha vannsøyle på tilnærmet 10 meter, $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$. Siden tankene på modellen er små, vil det hydrostatiske trykket være lavt.

Regner ut trykket for Ta-002 ved 100 % fullt i (4-8):

$$\begin{aligned} p &= 9790 * 0.5 = 4895 \text{ Pa} \\ 4895 \text{ Pa} &= 0.049 \text{ bar} = 49 \text{ mbar} \end{aligned} \quad (4-8)$$

Tilsvarende utregning for de andre tankene gir resultatet vist i Tabell 4-1.

Tabell 4-1 Trykk for nivåmåling

Tank	Trykk i bunnen ved 100 % nivå [mbar]
TA-001	29
TA-002	49
TA-003	24
TA-004	39
TA-005	18

Trykket i bunnen av TA-004 er beregnet ut i fra en antagelse om at tanken har en innvendig høyde på 40cm, siden den eneste informasjonen som foreligger er at den har en utvendig høyde på 52cm.

Trykkene i Tabell 4-1 er beregnet ut i fra 100 % fulle tanker. Dette kommer aldri til å forekomme siden tankene har overløp, men verdiene er nyttige for å vite hvilket måleområde som gjelder for de ulike nivåtransmitterne. Forholdet mellom trykk og nivå vil være lineært. Når maksimumstrykket er kjent kan man legge inn logikk som regner ut hvor stort volum som er i tanken. Volumutregningen vil inneholde forskjellige formler avhengig av størrelse og fasong på den enkelte tank.[1]

4.3.5 Typer regulering

Det vil i hovedsak bli benyttet PI- eller PID-kontrollere for å regulere nivået i tankene som har reguleringsventil eller pumpe som pådragsorgan. Det vil trolig være støy på målesignalene. Det kan derfor være aktuelt å ikke benytte D-leddet, siden det forsterker målestøy. Systemet er heller ikke avhengig av den raske reguleringen som D-leddet gir.[3]

Det er tenkt å benytte kaskaderegulering der temperaturkontrolleren TIC-007 styrer settpunktet til temperaturkontrolleren TIC-004. Dette vil føre til raskere kompensasjon av forstyrrelser, i tillegg til det vil bli en raskere regulering av temperaturen i TA-005.[3]

Det har vært ønske om å teste ut de innebygde DeltaV-modulene MPC og Fuzzy.

MPC er en modell-basert kontroller. MPC- systemer reguleres ved at det kontinuerlig regnes ut verdier fra nåtid og framover ut i fra en prosessmodell og prosessmålinger. I DeltaV kan man bruke predict for å regulere med MPC. Predict skal gjøre det mulig for brukere med middels god kunnskap om prosess-styring å bruke MPC- kontrollstrategier. DeltaV Predict inneholder følgende sett med verktøy[4]:

Model Predictive Control (MPC) function block: tillater deg å implementere multivariable kontroll-strategier.

MPC Simulation function block: tillater deg å lage multivariable treningsystem

Predict application: tillater deg å gjøre MPC-funksjonsblokka til en aktiv del av programmet og lage en prosessmodell til å bruke med MPC Process Simulator- funksjonsblokka.

MPC Operate application and advanced control dynamos: gjør det mulig for operatøren å se, og kommunisere med styring implementert med MPC-funksjonsblokken

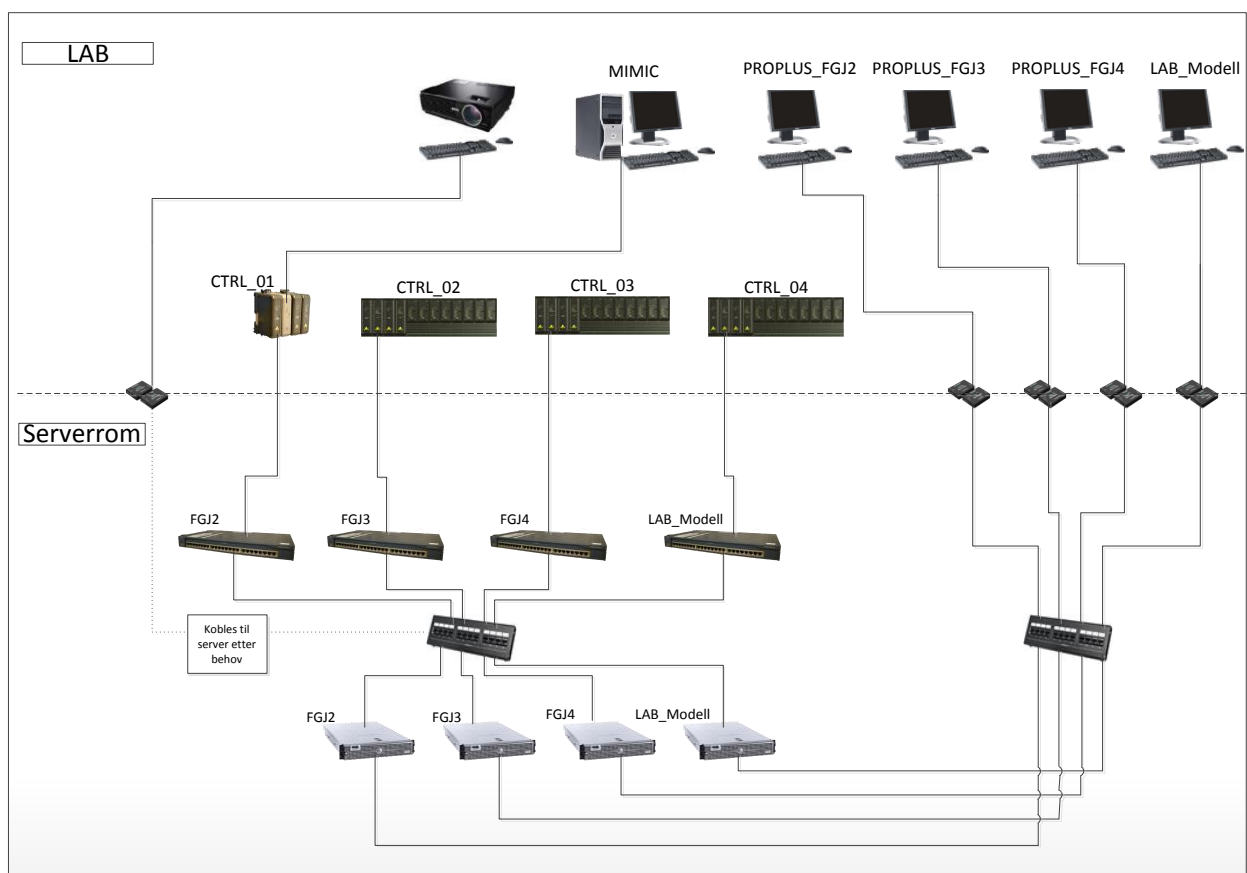
Fuzzy er et alternativ til PID i prosesser som kan dra fordeler av ulineær styring. Å bruke en innebygd kontrollalgoritme med fuzzy logikk i DeltaV skal ikke kreve noen spesiell kunnskap om fuzzy logikk. Fuzzy er i mange tilfeller bedre enn PID, det kan gi raskere respons på settpunktsendring eller forstyrrelser uten å overkompensere. Det er funksjonsblokka FLC som er basisen for DeltaV Fuzzy. [8][9]

5 KONTROLLNETVERKET PÅ LABORATORIET

På laboratoriet er det et serverrom med et rack som inneholder fire servere. Disse inneholder henholdsvis bibliotekene til fullgjødselselfabrik 2, 3, 4 og en server som er tenkt brukt på prosessmodellen. Det skal settes opp en stasjon for hver fabrikk, samt en stasjon for styring av prosessmodellen. Til dette er det behov for noe nytt utstyr. Gruppen må sette opp et budsjett og bestillingsliste for dette utstyret som kjøpes inn av Yara.

5.1 Planlagt oppbygning

Figur 5-1 viser hvordan vi har tenkt at kontrollnettverket skal være oppbygd. Hver stasjon består av en kontroller med strømforsyning og eventuelle IO-moduler, en ProPLUS-stasjon og en server. ProPLUS-stasjonen inneholder en database med all konfigurasjon, slik at andre stasjoner kan hente data. I tillegg skal det være en 24 VDC strømforsyning i raket på serverrommet som skal forsyne alle kontrollerne.



Figur 5-1 Topologi over kontrollnettverket på laboratoriet

5.2 Planlagt virkemåte

Serverne skal være koblet til et patchpanel, som igjen er koblet opp i fire switcher. Fra hver switch går det ethernet-kabel til hver sin kontroller. En ProPLUS-stasjon er satt opp på hver sin server. Patchpanelet gir mulighet til å velge hvilken server hver enkelt stasjon skal jobbe mot, men det er planlagt at det skal være en kontroller per server. Ved hjelp av KVM-switcher trenger man ikke å ha egen PC på hver stasjon. I vårt tilfelle skal det jobbes direkte på hver server. På Fullgjødsel2 kontrolleren er simuleringsverktøyet MiMiC tilkoblet. MiMiC har en virtuell IO-

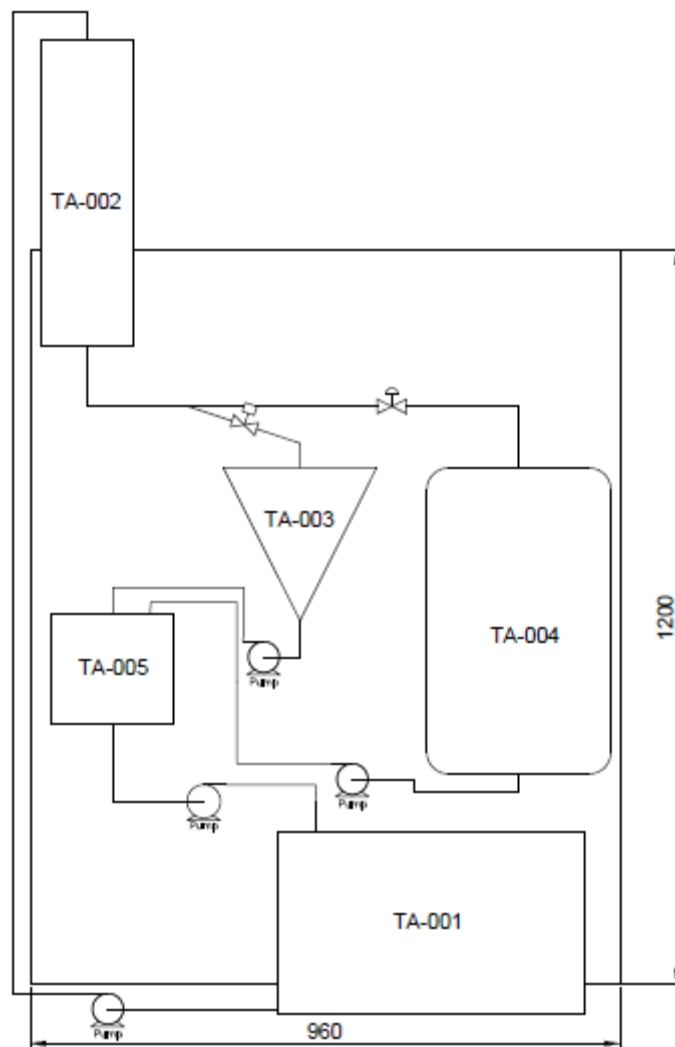
modul som gjør at man kan simulere drift av et anlegg eller øve på prosesshendelser som sjelden inntreffer uten å være online. [11]

6 PROSESSMODELLEN

Prosessmodellen er beregnet til å operere med vanntemperaturer mellom 20-50 °C. Det skal kun være atmosfærisk trykk i prosessen.

6.1 Planlagt oppbygning

Modellen skal bestå av 5 mindre tanker, der 3 av tankene er sylindriske, en er kjegleformet og den siste er en varmtvannstank. De sylindriske tankene er valgt både på grunn av at det er billigere å produsere tanker av rør, enn å få bygget firkantede tanker. En annen grunn er at liggende sylindriske tanker gjør det mer utfordrende å regne ut volumet i tankene i forhold til nivå. Den kjegleformede tanken er valgt på grunn av ulineæriteten mellom nivå og volum. Alle tanker bortsett fra TA-004 vil være gjennomsiktige slik at man kan følge med på hva som skjer inne i tankene. Modellen skal monteres på et stativ med hjul slik at den er mobil. En enkel oversiktstegning som indikerer størrelsen på modellen er vist i Figur 6-1.



Figur 6-1 Skisse av modellen

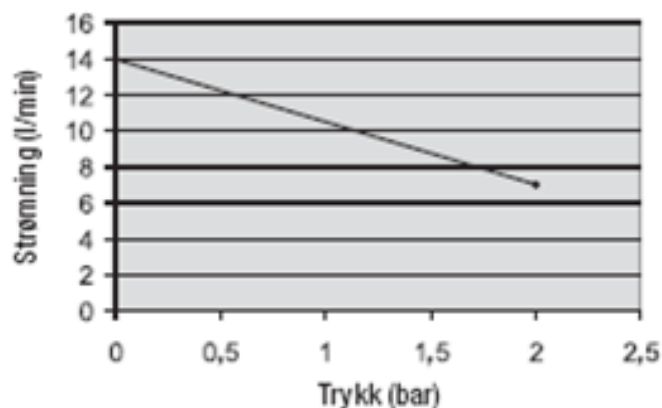
De sylindriske og den kjegleformede tanken vil bli produsert i plastmateriale. Mens varmtvannstanken(TA-004) må tåle varme. Det vil derfor bli benyttet en tank som er spesiallaget til å varme opp vann. Denne vil bli modifisert slik at nødvendig måleutstyr får plass på den.

6.1.1 Tankene

Konstruksjonstegninger for tankene beskrevet i dette underkapitlet er vist i Vedlegg N.

TA-001 vil fungere som en reservoartank. Den vil være en liggende sylindrisk tank på 35 liter. Tanken har overkapasitet til å lagre alt vannet som sirkuleres i modellen. Det vil si at det fremdeles er væske igjen i TA-001 når alle rør og tanker er væskefylt. Tanken vil ha mulighet for påfylling og avtapping av vann.

Fra reservoartanken TA-001 transporteres vannet opp til TA-002 med pumpen PA-001. Høydeforskjellen mellom TA-001 og toppen av TA-002 er på ca. 1,5 meter. Under en 10 meters vannsøyle er det et trykk på 1 bar, noe som resulterer i et mottrykk på ca. 150 mbar. Pumpen som er valgt i dette prosjektet er en tannhjulspumpe. Vi kan se av Figur 6-2 at benyttet pumpe leverer nesten maksimalt ved dette mottrykket.[15]



Figur 6-2 Strømningsdiagram for pumpe[15]

TA-002 er en høy stående sylindrisk tank. Den er plassert høyt opp i modellen for å oppnå høyest mulig hydrostatisk trykk. Dette trykket skal drive vannet videre til TA-003 og TA-004 uten å benytte pumper. Tanken har et volum på ca. 8,8 liter. I bunnen av TA-002 vil det sitte en trykkføler som vil bli brukt til å måle nivået i tanken. Siden tanken er 50 cm høy vil trykket på sensoren være maksimalt 50mBar. Det er valgt en transmitter med måleområde 0-1 bar. Dette representerer kun en liten del av måleområde til transmitter, men denne er så nøyaktig at målingen blir god nok selv på dette lille området. Alle tankene på modellen vil ha denne typen transmitter. For mer informasjon om transmitterne som er valgt, se Vedlegg I.

Fra TA-002 til TA-003 og TA-004 reguleres gjennomstrømningen ved hjelp av ventiler. Foran TA-003 skal det være en Av/På-ventil. TA-003 vil derfor bli fylt batchvis. Foran TA-004 skal det være en reguleringsventil der åpningen av ventilen vil bestemme mengden til denne tanken. Både TA-003 og TA-004 skal benytte trykkfølere til å måle nivået. Det vil bli brukt samme type transmittere her som på TA-002. TA-004 kommer i tillegg til å ha en temperaturtransmitter slik at temperaturen i tanken kan reguleres.

TA-003 er en kjegleformet tank på 4 liter. TA-004 er en varmetank på 10 l for oppvarming av vann. Den har en innebygd termostat som kobler ut varmeelementet ved 99 °C. Denne funksjonen vil beholdes som en sikkerhetsfunksjon. TA-004 skal modifiseres slik at utløpet er plassert over varmeelementet. På denne måten vil varmeelementet alltid stå under vann og dermed unngås tørrkoking. Vanntemperaturen i tanken vil ligge rundt 40-50 °C. Det vil derfor være nødvendig å regulere effekten på varmeelementet. Til dette vil det bli benyttet en TRIAC-styring.

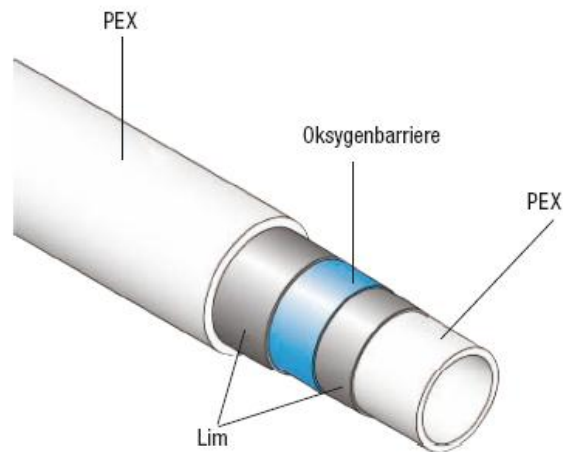
Fra TA-003 og TA-004 til TA-005 vil det bli brukt pumper for å frakte vannet. Disse pumpene er av samme type som PA-001. Foran pumpene sitter det flow-transmittere. Disse er basert på prinsippet om turbinmåling, som er beskrevet i kapittelet om transmittere.

Vannet fra TA-003 og TA-004 vil gå sammen i en Y-kobling ved innløpet til blandetanken TA-005, slik at det varme og det kalde vannet blander seg best mulig. Det vil i tillegg bli brukt en nedsenkbar pumpe i tanken for å oppnå ideell blanding mellom varmt og kaldt vann. Tanken vil ha et volum på 5 liter. Vannet fra TA-005 pumpes tilbake til reservoartanken TA-001.

Ved transport av modellen må alle tanker tømmes for vann. Dette kan gjøres ved hjelp av rør med manuelle ventiler som fører vannet tilbake i TA-001.

6.1.2 Rørsystemet

Rørene som vil bli brukt mellom tankene er plastrør med en indre diameter på 12 mm og en ytre diameter på 15 mm. Rørene som vil bli benyttet er vist i Figur 6-3.



Figur 6-3 Rørets oppbygning[14]

Pumpene klarer maksimalt å gi 2 bar trykk. Som vist i

Tabell 6-1 er rørene i systemet godkjent for langt høyere trykk enn dette. Dette gir en god sikkerhetsmargin. Tankene er derimot ikke beregnet for et så høyt trykk. Det er derfor viktig at overløpsrørene kan ta unna minst like mye vann som pumpes inn, slik at det ikke bygges opp trykk inne i tankene.

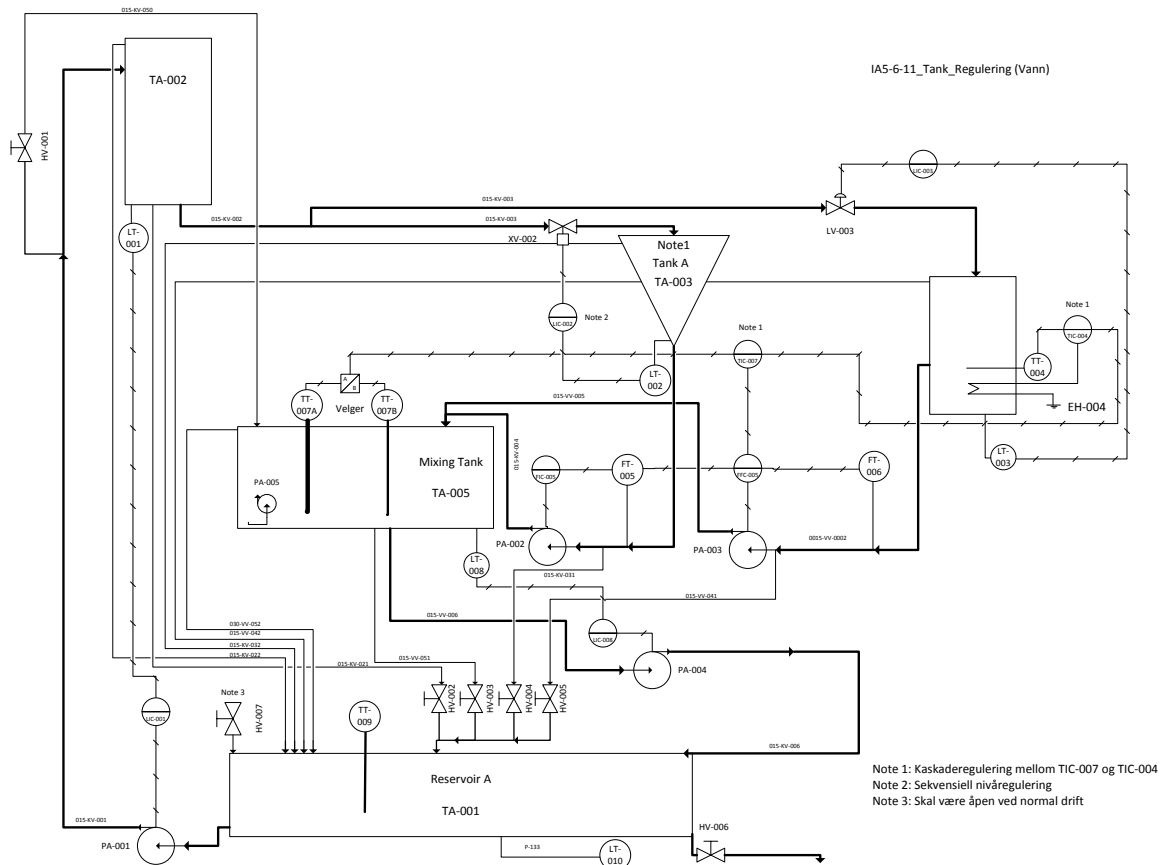
Tabell 6-1 Spesifikasjoner rør[14]

Bruk	Normal temp. [°C]	Maks temp. [°C]	Maks trykk [bar]
Kaldtvann	20	20	12
Varmtvann (inkl. uventilert)	65	95	6
Sentralvarme	82	105, midl. 114	3

Ut fra alle tanker, bortsett i fra reservoartanken, vil det være overløpsrør som transporterer vannet tilbake til reservoartanken ved høyt nivå. Med overløpsrøret som sikkerhet unngår man at det bygger seg opp trykk i tankene. De vil også sikre atmosfærisk trykk i tankene siden det kun vil være TA-001 som har direkte lufting. Dette er viktig for at nivåmålingsprinsippet skal fungere. Dimensjonering av overløpsrør er beskrevet i kapittelet om sikkerhet.

6.2 Modellens virkemåte

Når man leser om virkemåten til modellen, kan det være en fordel å benytte P&ID-tegningen vist i Figur 6-4 for lettere å få overblikk over prosessen. I tillegg kan en leserveiledning for P&ID som vist i Vedlegg F benyttes. P&ID inneholder mange detaljer, og ligger derfor med som Vedlegg E.



Figur 6-4 P&ID

Prosessmodellen skal benyttes til opplæring av Yara sine prosess teknikere og Prosessdata vil benytte modellen til simulering av reguleringsløyper. Det er derfor lagt vekt på at modellen er prinsipielt lik prosessene som blir brukt i gjødselproduksjon. Det er valgt å benytte forholdsregulering, FFC-005, mellom kaldt og varmt vann. Det kan trekkes paralleller mellom denne reguleringsløyfa og blanding av syrer og baser i gjødselproduksjon. Der er pH-verdien styrende for produktkvaliteten. På modellen er det temperaturen i TA-005, som er produktkvaliteten. Det er TIC-007 som styrer blandingsforholdet mellom kaldt og varmt vann TA-001 er lagertank for modellen. Via denne fylles og tappes modellen for vann. Påfylling skjer ved å koble vann til HV-007 og til tømning benyttes HV-006. Ved normal drift skal HV-007 være åpen mot friluft, siden TA-001 er atmosfærisk tilknytning for alle tankene via overløpsrørene. Det er ikke planlagt å knytte modellen opp mot et eksternt kjølesystem, noe som vil medføre at temperaturen i TA-001 gradvis øke. For å overvåke temperaturen brukes TT-009. Nivået måles med LT-010. For å transportere vann fra TA-001 brukes PA-001. Man har mulighet til helt, eller delvis å kjøre vann forbi TA-002 og direkte til TA-005. For å regulere mengden som går via dette røret brukes HV-001. Omløpskjøringen kan bli brukt ved oppstart av modellen, før man begynner å fylle TA-003 og TA-004. Den kan også brukes til å manipulere temperaturen i TA-005 eller simulere lekkasje i røret fra PA-001.

For å opprettholde nivået i TA-002 benyttes LIC-001 som styrer pådraget til PA-001. Dreneringsventil HV-002 kan brukes til å manipulere nivået i TA-002 for å teste og tune LIC-001. Til å måle nivået i TA-002 benyttes trykktansmitter LT-001. For at den skal måle riktig må man ha atmosfærisk trykk i tanken, dette sikrer ved at overløpsrøret er knyttet til TA-001.

TA-003 inneholder kaldtvann som brukes til temperaturregulering i TA-005. Nivået reguleres av LIC-002 som styrer Av/På-ventilen XV-002. Denne reguleringsløyfen er krevende siden man

ikke har mulighet for variabel gjennomstrømming på innløpet, men man har det på utløpet. Ved testkjøring av reguleringsløyfe LIC-002 kan man benytte HV-004 til å regulere utløpsstrømmen tilbake til TA-001. HV-004 kan også benyttes til å simulere lekkasje ved normal drift. Til å måle nivået i TA-003 brukes trykktransmitter LT-002.

TA-004 er varmereservoaret for temperaturreguleringen i TA-005. Nivået reguleres av LIC-003 som har LV-003 som pådragsorgan, den står oppstrøms TA-004. Til å varme opp vannet brukes EH-004 som reguleres av TIC-004. TIC-004 sitt SP kan styres fra TIC-007 ved kaskaderegulering for raskere å øke varmtvannstemperaturen ved behov. Ved testkjøring av LIC-003 kan HV-005 benyttes til å regulere utstrømmen tilbake til TA-001. Ved normal drift kan HV-005 brukes til å simulere lekkasje fra TA-004. Til å måle nivået i TA-004 brukes LT-003.

TA-005 er hovedtanken på modellen rent prosessmessig. Her skal ønsket temperatur oppnås ved å blande kaldt og varmt vann fra TA-003 og TA-004. For å oppnå best mulig blandingsforhold brukes en dykkpumpe PA-005 til sirkulasjon i tanken. Til å måle temperaturen brukes TT-007A eller TT-007B, der TT-007A har tykkere isolering. Det gir samme effekt som en termolomme noe som vil gi elementet større tidskonstant. Til væsketransport fra TA-003 og TA-004 brukes PA-002 og PA-003. For å måle mengden brukes gjennomstrømningstransmitterne FT-005 og FT-006. Pådraget til pumpene er forholdsstyrt med FFC-005, den blir igjen styrt av temperaturen i TA-005. Ved økende temperatur i TA-005 i forhold til SP vil mengden varmtvann bli redusert, mens mengden kaldtvann økes. Det motsatte vil skje når temperaturen går under SP. En har også mulighet for kaskaderegulering mellom TIC-007 og TIC-004 for å gi raskere temperaturøkning på det varme vannet. Til nivåregulering av TA-005 benyttes LIC-008. Som pådragsorgan til LIC-008 brukes PA-004, den transporterer vannet tilbake til TA-001. Siden det ikke er noe kjøling på modellen, vil en hele tiden ha en temperaturøkning på det kalde vannet. Modellen kan derfor ikke kjøres kontinuerlig. HV-003 kan brukes til å regulere utstrømmen ved utesting av reguleringsløyfer knyttet til TA-005. Ved høy temperatur i TA-005 bør denne bruken begrenses siden det gir rask økning i temperatur i TA-001. Til å måle nivået i TA-005 brukes trykktransmitteren LT-008.

7 BUDSJETT

Yara har gitt gruppen en budsjetttramme på 50 000,00 kr. Pengene skulle benyttes til oppgradering av eksisterende laboratorium og innkjøp av komponenter til en prosessmodell. Gruppen har satt opp et budsjett for prosjektet og delt dette opp i et for modellen vist i Tabell 7-1, og et for laboratoriet vist i Tabell 7-2.

Tabell 7-1 Budsjett for modellen

Komponenter til modellen	[2011 NOK]
- Pumper/Ventiler	6 500,00
- Tanker	15 000,00
- Sensorer/Transmittere	15 000,00
- Rør	1 000,00
- Koplingsmateriell (Elektro)	500,00
- Koplingsmateriell (Mekanisk)	2 000,00
- Motor/Temperatur-styring	4 500,00
Sum modell	44 500,00

Tabell 7-2 Budsjett for laboratoriet

Komponenter til laboratoriet	[2011 NOK]
- Kabelkanaler med tilbehør	7 500,00
- Koplingsmateriell (Elektro)	5 000,00
- Utstyr (Elektro)	500,00
- Verktøyplater	500,00
- Diverse	1 000,00
Sum laboratoriet	14 500,00

Yara stiller med en del koblingsmateriell og kabelkanaler. Dette er budsjettet med i Tabell 7-3.

Tabell 7-3 Budsjett for materiell fra Yara

Komponenter som Yara stiller med	[2011 NOK]
- Koplingsmateriell	3 000,00
- Kabelkanaler	6 000,00
Sum komponenter fra Yara	9 000,00

Oppsamlet ser vi av Tabell 7-4 at forventet kostnad for prosjektet vil havne på 50 000,00 kr.

Tabell 7-4 Oppsummert budsjett for prosjektet

Totalbudsjett	[2011 NOK]
- Modell	44 500,00
- Laboratorium	14 500,00
- Komponenter fra Yara	-9 000,00
Sum Totalt	50 000,00

Med begrensningene gitt av budsjettet er det satt opp en bestillingsliste over de komponentene det er behov for. Vedlegg G. viser en oversikt over komponenter til laboratoriet, mens Vedlegg H. inneholder delene til modellen. Yara stiller, i tillegg til koblingsmateriellet, med all maskinvare til DCS-systemet og annet PC-teknisk utstyr. Uten dette hadde det ikke vært mulig å etterfølge rammene i budsjettet.

Yara ønsket at vi skulle bruke deres faste leverandører mest mulig, slik at bestillingen gikk lettere gjennom deres innkjøpssystem. Dette lot seg ikke alltid gjøre da en del av komponentene ikke finnes i deres sortiment og måtte spesialbestilles.

Den største utfordringen var å finne komponenter som var dimensjonert i forhold til hverandre, og samtidig var billige nok til at budsjetttrammene ble overholdt. Enkelte av komponentene som i utgangspunktet var tenkt brukt hadde en høy prisklasse. Dette gjaldt spesielt reguleringsventiler. Det førte til at turtallsregulerte pumper er bestilt i stedet for reguleringsventiler.

8 SIKKERHET

For å unngå uønskede og kritiske situasjoner som kan føre til skader på bruker og modell, skal det designes et sikkerhetssystem. Det vil bli implementert i DCS-systemet med logikkblokker. Man benytter seg av målesignal fra transmitterne på modellen aktivisering av alarmgrenser. En transmitter kan ha en eller flere slike grenser. Transmittere som aktiverer alarmgrenser skal i utgangspunktet kun ha dette som oppgave, men på modellen brukes samme transmitter til både sikkerhet og regulering. Det er ingen gunstig løsning, men prisen på transmittere er høy og modellen skal bygges etter et gitt budsjett.

For å få en oversikt over sikkerhetssystemets virkemåte er det laget en forriglingsmatrise vist i Tabell 8-1. Den viser hvilket utstyr som mister driftssignal ved de ulike alarmgrensene. Pumper vil stoppe, mens ventiler vil lukke.

Hvis en alarm inntreffer er det i utgangspunktet ikke mulig å operere utstyr, men man kan overstyre alarmene fra faceplaten. Ved å overstyre en alarm, kan en operere utstyr som alarmen er knyttet mot. Dette er ikke anbefalt siden man da vil operere utstyr utenfor dets sikre driftsområde. En slik avgjørelse må være nøye gjennomtenkt siden feiloperasjon kan føre til skader på personell eller utstyr. Det verste scenarioet som kan oppstå, er at man overstyrrer EH-004 og temperaturen i rørsystemet blir for høy. Dersom temperaturen overstiger 65 °C, som er maks operasjonstemperatur til pumpene, vil dette over tid føre til pumpehavari. Øker temperaturen ytterligere vil man få varig deformering av rør og koblinger, noe som kan føre til lekkasje.

Tabell 8-1 Forriglingsmatrise

	LT-001 ALL	LT-001 AHH	LT-002 ALL	LT-002 AHH	LT-003 ALL	LT-003 AHH	LT-008 ALL	LT-008 AHH	TT-004 AHH	TT-007 AHH
PA-001		√								
PA-002			√					√		
PA-003					√			√		
PA-004							√			√
EH-004					√				√	
PA-005							√			
XV-002	√			√						
LV-003	√					√				

8.1 HAZOP

Drift av et prosessanlegg eller en prosessmodell kan medføre fare for feil operasjon. I designfasen av et anlegg ser man på de beste løsningene for optimal drift, gitt fra

prosessbeskrivelsen. På dette tidspunktet er det ikke sikkert at alle faremomenter blir vurdert. Derfor er det viktig å ha en grundig gjennomgang av prosessen, før man tar beslutningen om å bygge anlegget. Til dette benyttes en HAZOP-analyse for å ta prosessen for seg på detaljnivå. For ikke å overse detaljer, deltar personer med kompetanse innenfor flere fagdisipliner, både ingeniører og fagarbeidere. Den som leder et HAZOP-møte er ofte leder for teknisk sikkerhet i prosjektet. En tar for seg del for del av et anlegg og stiller spørsmål som "hva skjer hvis trykket stiger?" eller "Hva skjer om en mister strømforsyningen". Til å hjelpe deltagerne benyttes et spørsmålsskjema som i 44 Vedlegg C.

En av oppgavene i dette prosjektet var å gjennomføre en HAZOP-analyse av prosessmodellen.. Hensikten var å sikre at alle faremomenter ved modellen er kjent. Under analysen ble anlegget delt opp i tanker og utstyr tilknyttet dem. Yaras standard HAZOP-skjema er unødvendig detaljert, siden mange punkt ikke var gjeldene for modellen. Punktene det ble lagt størst vekt på var:

- Overløpskapasiteten fra tankene skal klare maks pumpekapasitet uten at overtrykket i tankene blir for høyt.
- Konstruksjonen og materialvalg av TA-004.
- Øke antall sensorer for å få bedre overvåking av modellen

Når det gjelder overløpskapasitet, så ble det spesielt fokusert på TA-005 som har to pumper på innløpet, det tilsvarer en væskestrøm på 28 l/min. Det gir en rask nivåøkning i en tank på 5 l. Det ble derfor bestemt å kalkulere hvilken diameter en må ha på utløpsrøret, for å unngå for høyt overtrykk i tanken. Beregninger for dette er vist i Vedlegg D.

Det var i utgangspunktet tenkt å bruke pleksiglass som material for TA-004, siden en ville ha en liggende sirkulær tank som gir reguleringstekniske utfordringer. Problemet ble diskutert og en kom fram til å benytte en ferdiglaget varmetank i stål med integrert varmeelement for å hindre smelting. For å sikre at elementet ikke kan tørrkoke ble det bestemt at utløpsrøret skal plasseres over elementet og ikke i bunn av tanken. Yara ønsket å ha instrumentering på TA-001 slik at en kan overvåke nivået i alle tankene.

9 VIDERE ARBEID

Arbeidet i 6. semester vil bestå av å gjennomføre den mer praktiske delen av prosjektet. Dette innebærer å utføre planlagte aktiviteter og bestilt utstyr til i 5. semester.

Tegning av koblingsskjema var planlagt å gjøre i 5. semester, men dette blir utsatt til 6. semester siden dokumentasjonen på komponentene mangler. Denne kommer sammen med komponentene, slik at koblingsskjema vil bli laget før koblingen starter i 6. semester.

Etter at koblingsskjemaet foreligger vil arbeidet med å oppgradere nettverket begynne. Arbeidet med oppbygning av modellen vil skje parallelt med koblingen på laben. Videre kommer elektrisk sammenkobling av modellen og oppkobling av modellen mot DeltaV-systemet.

Alle gruppedeltakerne har erfaring med kobling, men mindre erfaring med programmering. Det er derfor ønskelig å bli tidlig ferdig med koblingsdelen av prosjektet, for å få mest mulig tid til programmering og testing.

Oppgavene som gjenstår å svare på i oppgaveteksten er:

- Oppdatere kontrollnettverket på laben
- Sammenstilling av modellen
 - Mekanisk montering av modellen
 - Oppkobling av modellen mot IO
 - Signalteste modellen
- Bruke DeltaV til å styre og regulere modellen
 - Koble modellen mot DeltaV
 - Designe logikk, regulering og brukergrensesnitt for styring av modellen
 - Funksjonsteste modell og logikk
 - Oppdatere og ta i bruk ”Tank_AI”-modulen i DeltaV

10 OPPSUMMERING

Dette prosjektet har vært meget lærerikt for prosjektdeltakerne. Det har vært mange likheter mellom dette prosjektet og situasjoner fra arbeidslivet. Man har en oppdragsgiver som spesifiserer hva som ønskes av det ferdige produktet, og i samarbeid med oppdragsgiveren kommer frem til en hensiktsmessig måte å løse problemstillingen på.

På første prosjektmøte med Yara la gruppen frem skisser av tre forskjellige prosessmodeller. Prosessmodellen som ble valgt er en nivåreguleringsmodell som består av fem tanker. Nivået skal reguleres i fire av tankene og temperaturen i en miksetank skal reguleres ved hjelp av blandingsforhold mellom kaldtvann og varmtvann. Denne modellen ble valgt siden den har flere likhetstrekk med prosessene i Yaras fabrikker på Herøya.

Planleggingsdelen av prosjektet har vært variert. Det har vært nødvendig å finne ut hvilke pumper, ventiler og følere som kan brukes til en liten modell. Siden tankene er små vil det være lavt trykk i bunnen av tankene, det er derfor nødvendig med trykkfølere som er nøyaktige nok til å registrere endringer i dette lave trykket. Gruppen har funnet frem til alt utstyr det er behov for, som samtidig gir nødvendige funksjonalitet.

Beregning av strømning i rør har blitt utført for å kontrollere at overløpsrørene er dimensjonert i henhold til maks pumpekapasitet. Overløpsrørene vil bli plassert inn som sikkerhet i tilfelle det for eksempel er noe feil med en måling eller programfeil. Det har blitt gjort beregninger på hvor fort temperaturen i en tank endres ved endring av innstrømningstemperaturen og gjennomstrømningshastighet/oppholdstid. På laben måtte det planlegges hvordan kontrollnettverket med servere, switcher og DeltaV-moduler skal kobles opp.

Det har vært en utfordring å finne alt av reguleringsutstyr, tanker, rør og koblingsmaterieell til under 50 000,00 kr, så det har gått mye tid til dette. Bestillingslista endte til slutt litt over budsjetttrammene, men Yara har tilgang til en del av koblingsmateriellet fra egne lager slik at kostnaden likevel havner innenfor budsjettet.

Det har blitt vurdert å få hjelp, for eksempel av lærlinger, til å sammenstille prosessmodellen mekanisk for å spare tid. Det ble besluttet at dette ikke var nødvendig. Gruppedeltakerne har nå god kontroll over hvordan modellen skal bli og det vil ikke være mye tid å spare på å sette bort monteringen.

REFERANSER

- [1] Evett, Jack B, Liu, Cheng, Fundamentals of fluid mechanics, 1, McGraw-Hill ,United States of America, 1987
- [2] Ignatowitz, E, Prosesstekjemi, 2.utgave 6.opplag, Tangen Norge, 2007
- [3] Haugen, Finn, Basic Dynamics and Control, Skien, 2010
- [4] Haugen, Finn, Artikkel nr. 6 fra artikkelserien Reguleringssteknikk, 2008
- [5] Askheim S. (2011.08.03) Store norske leksikon. Lokalisert 10. november 2011 på Verdensveven: <http://snl.no/mineralgjødning>
- [6] Yaras hjemmeside. Lokalisert 01. november 2011 på Verdensveven: <http://www.yara.no/about/index.aspx>
- [7] Yara Porsgrunns hjemmeside. Lokalisert 01. november 2011 på Verdensveven: http://www.yara.no/about/production_locally/porsgrunn/index.aspx
- [8] Books Online for DeltaV versjon 11.3. Lokalisert 11. november 2011 på Verdensveven: <http://www.emersonprocess.com/systems/support/bol113/index.html>
- [9] Emerson Process Management (2010) DeltaV Digital Automation System, System Overview, USA. Lokalisert 8. november 2011 på Verdensveven: <http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20DeltaV%20Documents/Brochures/DeltaV-System-Overview-v11-Brochure.pdf>
- [10] Wikipedia (2011-11-06). Distributed control system. Lokalisert 10. november 2011 på Verdensveven: http://en.wikipedia.org/wiki/Distributed_control_system
- [11] MYNAH Technologies LLC (2011) MiMiC Simulation Software. Lokalisert 05. november 2011 på Verdensveven: <http://www.mynah.com/products/mimic>
- [12] Larsen, Bjørnar, Industriell måleteknikk for automatikerfaget , utgave 1, Vett og Viten, Stabekk, 1996
- [13] Olsen, Odd Arild, Instrumenteringsteknikk, 1.utgave, 4. opplag, Tapir, Trondheim, 1994
- [14] Biltema (2011), Vannledningssystem, Lokalisert 16. november 2011 på Verdensveven: http://www.biltema.no/Documents/manualer/86/866001_man.pdf
- [15] Biltema (2007), Vann/Dieselpumpe, Lokalisert 16. november 2011 på Verdensveven: <http://www.biltema.no/Documents/manualer/25/25-987.pdf>

VEDLEGG

Vedlegg A Oppgavetekst

Vedlegg B Fremdriftsplan

Vedlegg C HAZOP-skjema

Vedlegg D Beregning av overløp

Vedlegg E P&ID

Vedlegg F Leserveiledning til P&ID

Vedlegg G Bestillingsliste for laboratoriet

Vedlegg H Bestillingsliste for modell

Vedlegg I Datablad for trykktransmitter

Vedlegg J Reynoldstall og typer strømning

Vedlegg K Skisse av nivåreguleringsmodell

Vedlegg L Skisse av pelletsmodell

Vedlegg M Skisse av olje/vannseparator

Vedlegg N Konstruksjonstegninger av tanker

VEDLEGG A OPPGAVETEKSTEN



Høgskolen i Telemark

Fakultet for Teknologiske fag

IA5506 Prosjekt IA5/PRH606 Hovedprosjekt

Tittel: Prosjektering og utvikling av laboratorium med prosessmodell

Hovedveileder: Hans-Petter Halvorsen

Biveileder: Morten Pedersen

Ekstern partner: Yara Porsgrunn

Beskrivelse:

Oppgaven går ut på å prosjektere et laboratorium med en prosessmodell for automasjonsavdelingen til Yara på Herøya. Til disposisjon er det et budsjett på ca. 50 000,00 kr, som skal brukes til innkjøp av materiell til prosessmodellen og laboratoriet. I tillegg stiller Yara med komponentene til styringssystemet. Modellen skal brukes til opplæring/repetisjon av DeltaV. Den kommer også til å bli brukt til testing av ny logikk.

Prosjektet består av tre hovedpunkter med tilhørende underpunkter:

1. Den eksisterende laben skal oppdateres
 - 1.1. Lage plantegning av rommet
 - 1.2. Lage topologi over kontrollnettverket
 - 1.3. Materialliste og budsjett
 - 1.4. Oppdatere kontrollnettverket på laben

2. Det skal lages en fysisk prosessmodell
 - 2.1. Gruppen skal i samarbeid med Yara komme frem til en hensiktsmessig modell som skal kjøpes/bygges
 - 2.2. Prosjektering av modellen

- 2.2.1. Prosessbeskrivelse
 - 2.2.2. Det skal lages et prosess- og instrumenteringsdiagram
 - 2.2.3. Valg av komponenter
 - 2.2.4. Lage materilliste og budsjett
- 2.3. Sammenstilling av modellen
- 2.3.1. Mekanisk montering av modell
 - 2.3.2. Oppkobling av modell mot IO
 - 2.3.3. Signalteste modellen
3. Bruke DeltaV til å styre og regulere modellen
- 3.1. Det vil være behov for kurs/opplæring på DeltaV-styresystem.
 - 3.2. Koble modellen mot DeltaV
 - 3.3. Designe logikk, regulering og brukergrensesnitt for styring av modellen
 - 3.3.1. Beskrive systemet og reguleringsteknikk tenkt brukt
 - 3.3.2. Lage skjermbilder
 - 3.3.3. Programmere logikk til modell
 - 3.3.4. Benytte PID-regulator
 - 3.4. Funksjonsteste modell og logikk
 - 3.4.1. Teste Fuzzy og MPC
 - 3.5. Ta i bruk og oppdatere "Tank_AI"-modulen i DeltaV

Bakgrunn for oppgaven:

Yaras automasjonsavdeling har et laboratorium som i dag består av et nettverk med servere som inneholder bibliotekene fra Yaras tre fabrikker på Herøya. Styringssystemene knyttet til nettverket er Emerson DeltaV og SiemensPCS7. De ønsker at laboratoriet skal bli mer oversiktlig og funksjonelt. I dag er det ikke muligheter til å demonstrere logikk og regulering fra styresystemene. De ønsker derfor en prosessmodell til opplæring og testing av nye funksjoner før eventuell implementering i fabrikk. For at modellen skal være mest mulig fleksibel bør den inneholde flere reguleringssløyfer og mulighet for manipulering av disse.

Om Yara

Yara International ASA er verdens største leverandør av mineralgjødning og bidrar til matforsyning og fornybar energi til verdens voksende befolkning. Produktene bidrar også til å rense luften og eliminere giftig avfall. Selskapet har over 7 300 ansatte med virksomhet i mer enn 50 land.

Yara Porsgrunn

Avdelingen i Porsgrunn har kapasitet til å produsere 1 800 000 tonn NPK og Fullgjødning® pr år og 800 000 tonn Kalksalpeter.



10-1 Herøya industripark Yara.no

Yara sysselsetter ca 800 av 3400 personer som er ansatt i Herøya Industripark. Omtrent 95 % av produksjonen blir eksportert til kunder i mer enn 50 land. Produktet tilpasses kundenes ulike behov, og i alt har Yara Porsgrunn produsert rundt 70 forskjellige NPK-typer. Yaras anlegg på Herøya utgjør selskapets største produksjonssted for NPK-gjødsel.

I industriparken ligger også Yaras eget forskningsssenter. Blant oppgavene er å utvikle og forbedre både gjødselproduktene og selve produksjonen.

Kilde:Yara.no

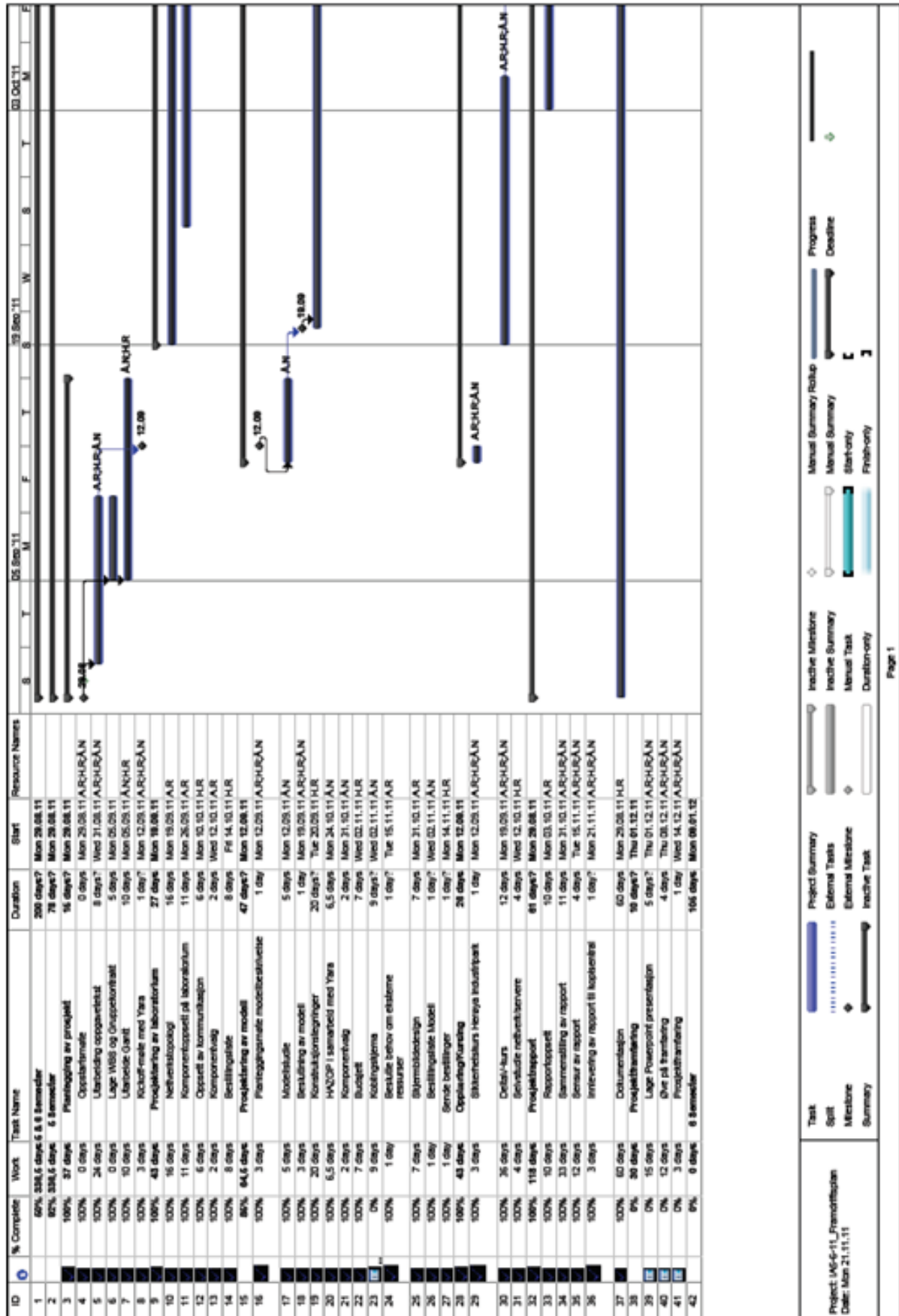
Kontaktpersoner hos Yara:

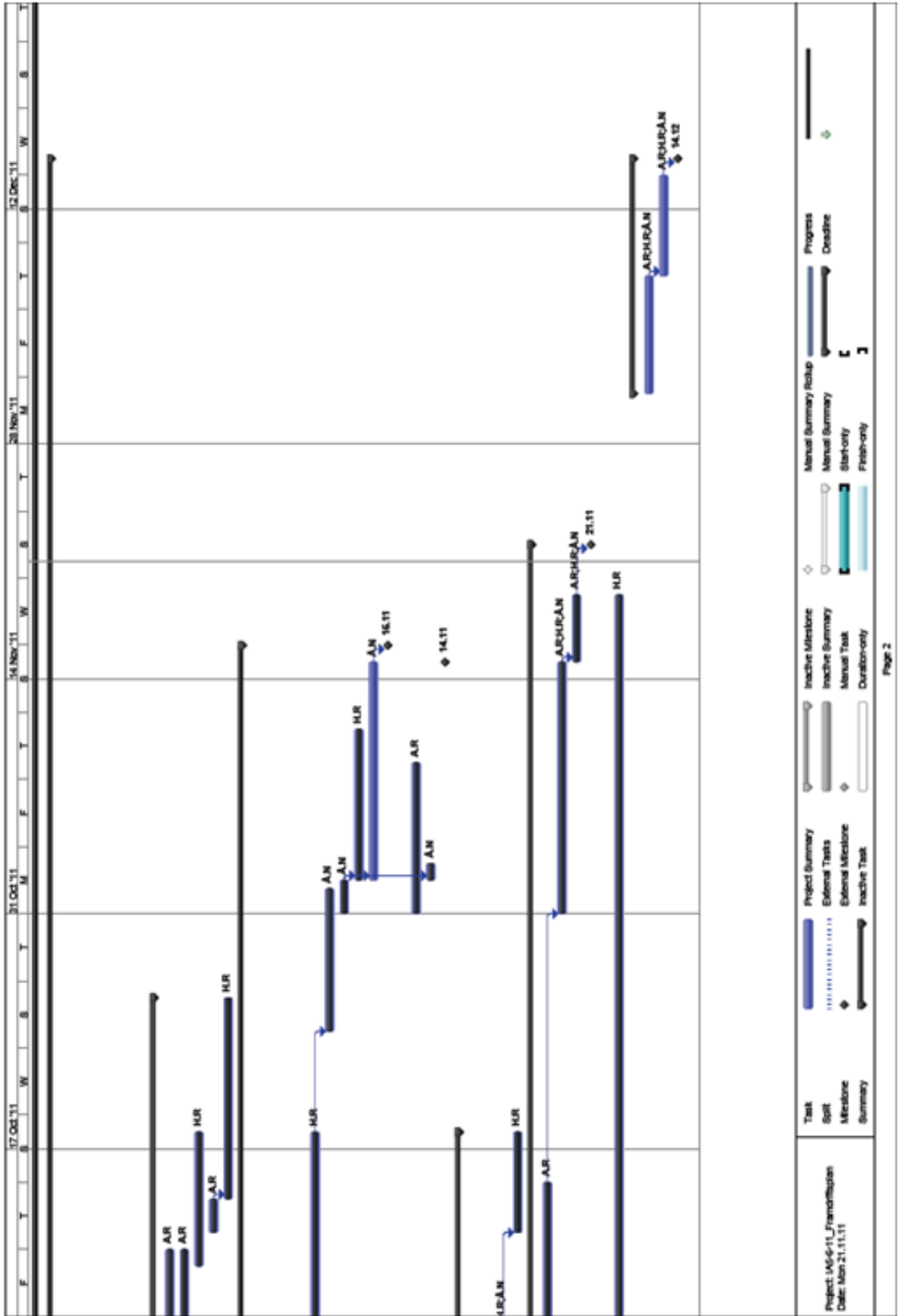
Håkon Wærstad, DeltaV, tlf. 992 03 379, e-post: hakon.warstad@yara.com

Stig Myrland, DeltaV, tlf. 907 91 444, e-post: stig.myrland@yara.com

Ingvar Westengen, Modellbeskrivelse, tlf. 900 34 356,
e-post: ingvar.nikolai.westengen@Yara.com

VEDLEGG B FREMDRIFTSPLAN





Page 2

VEDLEGG C HAZOP

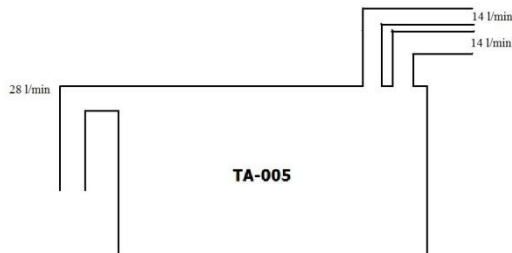


SPØRSMÅL VED HAZOP - ANALYSE

For hver prosess strøm	1	Forandring i mengde	A	For høy strømning	1	Pumpen går for fort, for lavt trykk nedstrøms, for høyt trykk oppstrøms, feil levering, lekk vv.	Svikt i automatikken Operatørfeil Svikt i sikkerhetsventil, sprengskive eller rørledning, rørsammenføyning
			B	For lav strømning	2	Pumpesvikt, feil levering, blokkering, dårlig sug, kavitasjon, lekkasje i vv, dreneringsventil åpen, ventil delvis stengt	
			C	Ingen Strømning	3	Pumpesvikt, blokkering, stengt ventil, tom leveringstank	
			D	Feil retning	4	Pumpesvikt, mottagertank høyt trykk, hevert-virkning, sug	
2	Fysisk tilstandsforandring	A	høyt/lavt trykk	1	Koking, kavitasjon, frysing, kjemiskreaksjon, flashing, kondensering, sedimentering, skumming, gasasutslipp, overkoking, eksplosjon. Forandring i viskositet, tetthet. Ytre brann. Værforhold, frost, soloppvarming.		
		B	Høy/lav temperatur				
		C	Statisk elektr.	2	Tennkilde, elektrisk støt(sjokk) for personell, jording utstyr.		
3	Kjemisk tilstandsforandring	A	Høy/lav konsentrasjon	1	Forandret blandingsforhold av komponenter (vann, løsningsmidler etc.)		
		B	Forurensning	2	Innsugd luft, vann, vandamp, stoffer fra høytrykkssystem, lekkasje vv, smørløjer-		
4	Oppstart og nedkjøring	A	Testling	1	Vakuu, trykkprøving med ufarlig medium		
		B	Oppstart	2	Konsentrasjon av reaktanter, mellomprodukter		
		C	Vedlikehold	3	Spyling, lufting, tørking, oppvarming. Adkomst, reservedeler		
5	Forandring i medlet i beholdere	A	Høy/lav reaksjon	1	Skumming, andre reaksjoner, "run away", gassing, eksoterm, endoterm reaksjoner oppkonsentrering, katalysatorvirkninger.		
		B	Høy/lav blanding	2	Svikt i mikser, vortex-dannelse, skikting, erosjon		
		C	Høyt/lavt nivå	3	Flooding, hevertvirkning, korrosjon, slamakkumulering.		
		D	Høyt/lavt trykk/temp	4	Apperaturdesign. Bruk av spyledamp. Avspenning av kondenserte gasser. Bortfall kjølevann. Filosofi og kapasitet sikkerhetsventiler.		
6	Utslipp	A	Forbundet med	1	Reaksjoner i avløpsystemet		
				2	Forbindelser mellom avløp, mellom vannlås/utskillere, mellom ventilasjonssystemer. Piper og fakler.		
For hele anl.	7	Nød situasjoner	A	Svikt i krafttilførsel, trykk-luft, damp, spynitrogen og ventilasjon. Svikt i styrings- og forriglingssystem.	1	Vurdere total og delvis svikt.	
					2	Vurdere belysning av paneler, strøm til paneler og generell nødplan.	
					3	Nødvendig pålitelighet forriglingssystemer. Fellesfeil styring og forriglingssystemer.	
					4	Prosedyrer og sambandsystemer. Koordinering med andre fabrikker.	

VEDLEGG D BEREGNING AV OVERTRYKK I TA-005:

Vedlegget er basert på referanse [1]. Siden overløpsrøret er plassert i øvre halvdel av TA-005, vil en ikke få noe hydrostatisktrykk over røret til å drive vannet ut av tanken. Man må derfor tillate et lite overtrykk i tanken for å drive ut vannet ved overfylling. Figur



Trykket satt til 1800 Pa som er det samme som det hydrostatisktrykk i bunnen av TA-005

For at trykket ikke kan bli høyere en 1800 Pa, er det gjort følgende beregning av størrelsen på utløpsrøret:

Benytter Bernoullis formel:

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho \cdot v_1^2 + \rho \cdot g \cdot z_1 = p_2 + \frac{1}{2} \rho \cdot v_2^2 + \rho \cdot g \cdot z_2$$

Der venstreside er forholdene i tanken og høyreside er forholdene i overløpsrøret.

En vet følgende forhold:

- Hastigheten i tanken $v_1 = 0$ m/s
- Trykket i overløpsrøret $p_2 = 0$ bar

Formelen for systemet blir da:

$$p_1 + \rho \cdot g \cdot z_1 = \frac{1}{2} \rho \cdot v_2^2 + \rho \cdot g \cdot z_2$$

Væskeshastigheten er gitt ved å snu formelen med hensyn på v_2 :

$$v_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot (p_1 + \rho \cdot g \cdot (z_1 - z_2))}{\rho}}$$

Siden det ikke er høydeforskjell er $(z_1 - z_2) = 0$

$$v_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot (1800 \text{ Pa} + 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot (0))}{1000 \text{ kg/m}^3}} = 1,897366596 \text{ m/s}$$

Finner arealet til overløpsrøret, en vet at $Q_{\text{inn}} = Q_{\text{ut}} = 28$ l/min

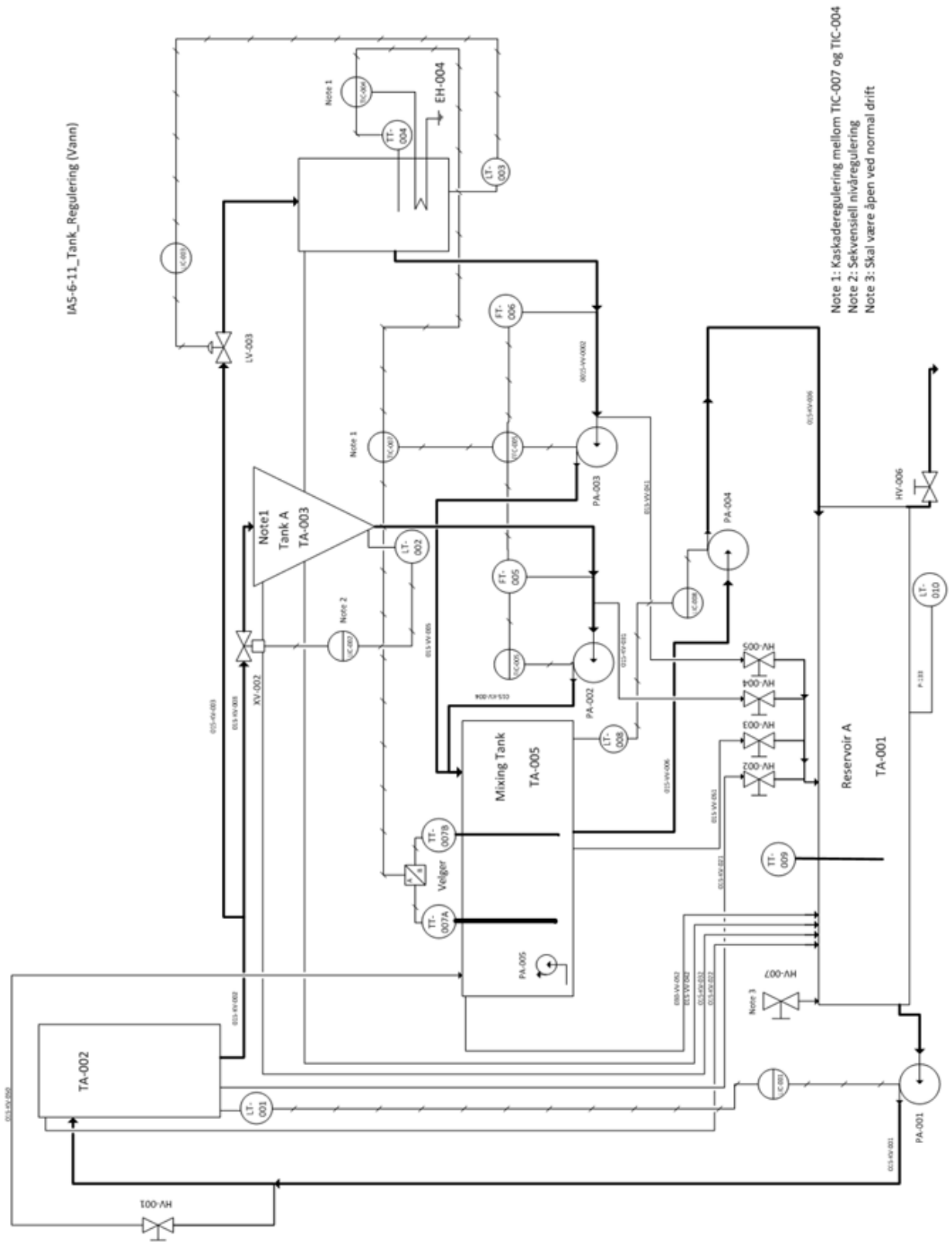
$$Q = A \cdot v_2 \rightarrow A = \frac{Q_{ut}}{v_2} = \frac{\left(\frac{28 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{min}}{60 \text{ s/min}}\right)}{1,897366596 \text{ m/s}} = 2,4595 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Finner indre diameter av overløps

$$A = \pi * r^2 \rightarrow r = 8,848157 \text{ mm, indrediameter} \rightarrow 2 \cdot r \approx 18 \text{ mm}$$

En må ha et overløpsrør med en indre diameter større en 18 mm for å ta unna 28 l/min uten at overtrykket i TA-005 overstiger 1800 Pa.

VEDLEGG E P&ID



VEDLEGG F LESERVEILEDNING TIL P&ID

P&ID er tegnet og merket etter vanlig standard. Har en erfaring med slike tegninger vil en ikke ha problemer med å forstå virkemåten til modellen. Riggeren består av et sammensatt anlegg, og er ikke delt opp i flere anleggsdeler. Det er derfor ikke brukt anleggsnummerering på modellen.

Alt utstyr er merket på følgende måte:

11-222

1. Beskriver hvilke type utstyr det er.
2. Unikt utstyrsnummer.

Utstyr er pumper, ventiler, tanker og transmittere.

Rørmerking er gjort på følgende måte:

111-22-333

1. Ytre diameter på røret i mm.
2. Hvilke medium røret transporterer. KV for kaldt vann og VV for varmtvann.
3. Unikt rørnummer

Et rør tilknyttet modellen vil være merket slik: 015-KV-0021.

Ut fra dette kan en se at røret har en ytre diameter på 15mm, inneholder kaldt vann. Tilsvarende vil VV indikere varmt vann.

Spesiell informasjon er merket med "note" der det er gjeldene. Forklaring på hver enkelt "note" er plassert nede i høyre hjørne.

Ved å bruke denne typen merking kan en person uten kjennskap til et gitt anlegg, forstå virkemåte og funksjon. Noe som korter ned tiden det tar å sette seg inn i modellen.

VEDLEGG G BESTILLINGSLISTE LABORATORIUM

Anskaffet	Betegnelse	Forklaring	Leverandør Nr	El.Nr	Produsent	Bestilles fra	Pris i NOK	Antall [stk/m]	stk/m	Pris totalt	Inkl. Mva
	Kabelkanal (Grå)	BA760080 60x80mm		12 856 31		Otra	58,73	10	m	587,30	734,13
	Kabelkanaler	(Hvit til vegg) TEK 123/72		12 773 39	Thorsman	"	304,5	10	m	3045,00	3806,25
	Kabelkanal Front	Hvit (F 80 PV)		12 774 30	Thorsman	"	83,13	10	m	831,30	1039,13
	Stikk	3xstikk CYB-PS masteruttak m/barnevern		12 913 42	Thorsman	"	145	2	stk	290,00	362,50
	Endestykker	(ES 123 PV)		12 776 55	Thorsman	"	56,5	4	stk	226,00	282,50
	KabelHylle	(Skille for sterk/svak-strøm)		12 776 71	Thorsman	"	10,85	8	m	86,80	108,50
	Ethernett-porter	Til TEK123 (CYB 2xRJ45 CAT.5 STP 568AB)		69 157 85		"	250,2	4	stk	1000,80	1251,00
	PN-Kabel (2,5mm ²)	Svart		10 502 40		"	490	1	snl	490,00	612,50
	PN-Kabel (2,5mm ²)	Hvit		10 502 41		"	490	1	snl	490,00	612,50
	PN-Kabel (2,5mm ²)	Brun		10 502 49		"	490	1	snl	490,00	612,50
	PN-Kabel (2,5mm ²)	Jord (Gul/grønn)		10 502 46		"	490	1	snl	490,00	612,50
	Kabel (2,5mm ²)	Myk tilførselskabel (1-fase+jord)		10 742 02		"		8	m	0,00	0,00
	Chassiemontert kontakt	H-B 24 AG		15 313 80		"	154,12	2	stk	308,24	385,30
	Plugg	H-B 24 TS M2		15 311 32		"	214,9	2	stk	429,80	537,25
	Innsats	H-BE 24 S (1-24) HAN		15 313 74		"	154,12	2	stk	308,24	385,30
	Innsats	H-BE 24 B (1-24) HUN		15 313 75		"	162	2	stk	324,00	405,00
	Chassiemontert kontakt	H-B 10 AG		15 313 78		"	144	1	stk	144,00	180,00
	Plugg	H-B 10 TS M25		15 311 12		"	126	1	stk	126,00	157,50
	Innsats	H-BE 10 S HAN		15 313 70		"	95,6	1	stk	95,60	119,50
	Innsats	H-BE 10 B HUN		15 313 71		"	99,6	1	stk	99,60	124,50
	Ethernett-koblinger	(RJ-45)		-		Yara	0		stk	0,00	0,00
	PG-nippel	Diverse størrelser				"			stk	0,00	0,00
	DIN-Skinne					"			m	0,00	0,00
	Cat5-Kabel			-		"	0		m	0,00	0,00
	VGA-Kabel			-		"	0		m	0,00	0,00
	Rekkeklemmer	WDU2.5		-		"			stk	0,00	0,00
	KVM					"		5	stk	0,00	0,00
x	Biltemaplater	Blå 1550x950		-		"	0	1	stk	0,00	0,00
	Monteringsvinkler	For montering av switch i rack				"		8	stk	0,00	0,00
	Sikringer 24V/12V (16A)	En til hver controller (DC) C60H/C16-2		16 026 28		"		4	stk	0,00	0,00
	Sikringer 24V/12V (10A)	Automat til modell				"			stk	0,00	0,00
	Sikringer 24V/12V (10A)	Rekkeklemmer til modell				"			stk	0,00	0,00
x	Switch	10/100		-	Cisco	"	0	4	stk	0,00	0,00
	Biltemaplater	Blå 960x800				Biltema	349	1	stk	279,20	349,00
	Biltemaplater	Blå 960x400				"	199	1	stk	159,20	199,00
	Patche-panel	Patchpanel 12xRJ45 UTP				Jula	199	2	stk	318,40	398,00
										SUM Deler eks. mva	10619,48
										SUM Deler inkl. mva	13274,35

VEDLEGG H BESTILLINGSLISTE MODELL

Anskaffet	Betegnelse	Forklaring	El.Nr	Leverandør Nr	Produsent	Bestilles fra	Pris i NOK	Antall stk	stk/m	Pris totalt	Inkl. Mva
	Manuelle små			170703	FESTO	FESTO	180	5	stk	900,00	1125
x	Manuelle store	Drenering og atmos vent av TA-001			Yara			2	stk	0,00	0
	AV/PÅ ventil			549827	FESTO	FESTO		1	stk	1090,00	1362,5
x	Regventil	Nivåregulering TA-004			Yara			1	stk	0,00	0
	Motor/pumpe			25987	Biltema	Biltema	999	4	stk	3996,00	3996
	Motorkontroll	PWM for hastighetsregulering		EM-213	Electromen	OEM Automatic AS	677	4	stk	2708,00	3385
	Kortholder for DIN-skinne	Til EM-213		EM-H43x73	Electromen	OEM Automatic AS	50	4	stk	200,00	250
	Pantrypumpe	Sirkulasjon i TA-005		25980	Biltema	Biltema	90	1	stk	90,00	90
	Trykksensor	Nivå i alle tanker	54-545-05		Gems	ELFA	830	5	stk	4150,00	5187,5
	Tilkoplingsplugg med kabel	Til nivåtransmittere	44-738-94	RKT 4-072 M	Lumberg	ELFA	65	5	stk	325,00	406,25
	Flowtransmitter + signalomformer	Mengde fra TA-003/004		549825	FESTO	FESTO	4280	2	stk	8560,00	10700
	Kortholder for signalomformer	til signalomformer må kjøpes separat						2	stk	0,00	
	Hyttevarmer 10L	TA-004 inkl varmelement			Hyttetorget	Hyttetorget	690	1	stk	690,00	690
	Tyristor	Styre temp i TA-004	41-651-53	RJ 1P23130E	Carlo Gavazzi	Carlo Gavazzi Porsgrunn	809	1	stk	809,00	1011,25
	Rør	PVC-rør til modellen		866015	Biltema	Biltema	15,56	35	m	544,60	kr 544,60
	Bend			866003	Biltema	Biltema	17,45	40	stk	698,00	kr 698,00
	T-stk			866005	Biltema	Biltema	24,95	20	stk	499,00	kr 499,00
	Skjøter			866001	Biltema	Biltema	14,95	60	stk	897,00	kr 897,00
	Rørinnsats	Styrking av rørender		866011	Biltema	Biltema	2,745	60	stk	164,70	kr 164,70
	Klemringer røde	Merking til rør		866013	Biltema	Biltema	54,9	1	stk	54,90	kr 54,90
	Klemringer blå	Merking til rør		866012	Biltema	Biltema	54,9	1	stk	54,90	kr 54,90
	Tank 001					BIS	2900	1	stk	2900,00	3625,00
	Tank 002					"	2100	1	stk	2100,00	2625,00
	Tank003					"	3500	1	stk	3500,00	4375,00
	Tank 005					"	1800	1	stk	1800,00	2250,00
	Rele 12/24V DC	minst 10A (et rele til hver pumpe)				Yara		5	stk	0,00	0,00
	PFSP-kabel (2,5mm*2)	Koplingskabel på modell		1016121		Yara	13,65	10	m	136,50	170,63
	Koblingsboks	Til sikringer og rekkeklemmer på modell				Yara		2	stk	0,00	0,00
										SUM Deler eks. mva	kr 36 867,60
										SUM Deler inkl. mva	44162,225

VEDLEGG I DATABLAD TRYKKTRANSMITTER





3300 Series

Compact Low Pressure OEM Pressure Transmitters

- ▶ 0 to 16 bar pressure ranges (0 - 250 psi)
- ▶ Choice of outputs, electrical connections and pressure ports
- ▶ Operating temperature up to 125°C (257°F)

For OEMs that need consistent high levels of performance, reliability and stability the 3300 Series units offer a small package size with all stainless steel welded parts at an unbeatable price performance ratio. A wide choice of electrical outputs as well as both electrical and pressure connections means the unit is suitable for most applications without modification. The compact construction of the 3300 series makes it ideal for installation where space is at a premium.

Specifications

Performance	
Long Term Drift	0.2% FS/YR (non-cumulative)
Accuracy	0.25% FS
Thermal Error	±1% max/80°C (176°F)
Compensated Temperatures	-20°C to +100°C (-4°F to +212°F)
Operating Temperatures	-40°C to +125°C (-40°F to +257°F)
Zero Tolerance	±0.5% of span, max.
Span Tolerance	±1% of span, max.
Fatigue Life	Designed for more than 100 M cycles
Mechanical Configuration	
Pressure Port	See under "How to Order" last page
Wetted Parts	17-4 PH Stainless Steel
Electrical Connection	See under "How to Order" last page
Enclosure	IP67 (IP65 for electrical codes B, K and G)
Vibration	BSEN 60068-2-6 (FC) BSEN 60068-2-64 (FH)
Shock	BSEN 60068-2-26 (Ea)
Approvals	CE, PED, RoHS
Weight	35 to 63 grams (1.23 to 1.9 ounce). Configuration dependant

Individual Specifications

Voltage Output Units	
Output	0V min. to 10 V max. See under "How to Order" last page
Supply Voltage (Vs)	3 Volts above full scale to 30 Vdc (24 Vdc, max. above 110°C (230°F) applications).
Current Output Units	
Output	4-20 mA
Supply Voltage (Vs)	8-30 Vdc (24 Vdc, max. above 110°C (230°F) applications)
Max Load Resistance	(Supply Voltage - 8) x 50 ohms
Ratiometric Output Units	
Output	0.5 to 4.5 Vdc
Supply Voltage (Vs)	5 Vdc ±10%



Deubeh DT04-4P



DIN 1.4 mm



M12 x 1P



Packard MetriPack



Amp Superseal 1.5



DIN 43650A

EMC Specifications

Emissions Tests: EN61326-1:2006 and EN61326-2-3:2006	
Test Standard	Test
EN60511:2007	Conducted Emissions
EN62011:2007	Radiated Emissions
Immunity Tests: EN61326-1:2006 and EN61326-2-3:2006	
Test Standard	Test
EN61000-4-2:1995 + A1 + A2	Electrostatic Discharge
EN61000-4-3:2006	Radiated Immunity
EN61000-4-4:2004	Fast Burst Transients
EN61000-4-6:2006	Conducted RF Immunity

PRESSURE TRANSDUCERS

Visit www.GemsSensors.com for most current information.

IA5-6-11

57

VEDLEGG J REYNOLDS' TALL OG TYPER STRØMNING

Inne i et rør vil ikke væskestrømmen være lik over hele tverrsnittet av røret. Derfor brukes gjennomsnittsfart for å beskrive farten på væskestrømmen.

Typer av strømninger

Laminær strømning har vi når en væske flyter langsomt og rolig de enkelte væskesjiktene glir på hverandre uten å blande seg med hverandre. Hastigheten er størst i midten av røret, mot rørveggen avtar den mot null i form av en parabel.

Turbulent strømning oppstår ved større strømningshastigheter væskesjiktene danner da virvler og blander seg. Strømningsmotstanden er vesentlig større enn ved laminær strømning. Hastigheten er tilnærmet lik over hele tverrsnittet.

Reynolds' tall brukes for å beskrive tilstanden til strømninger.

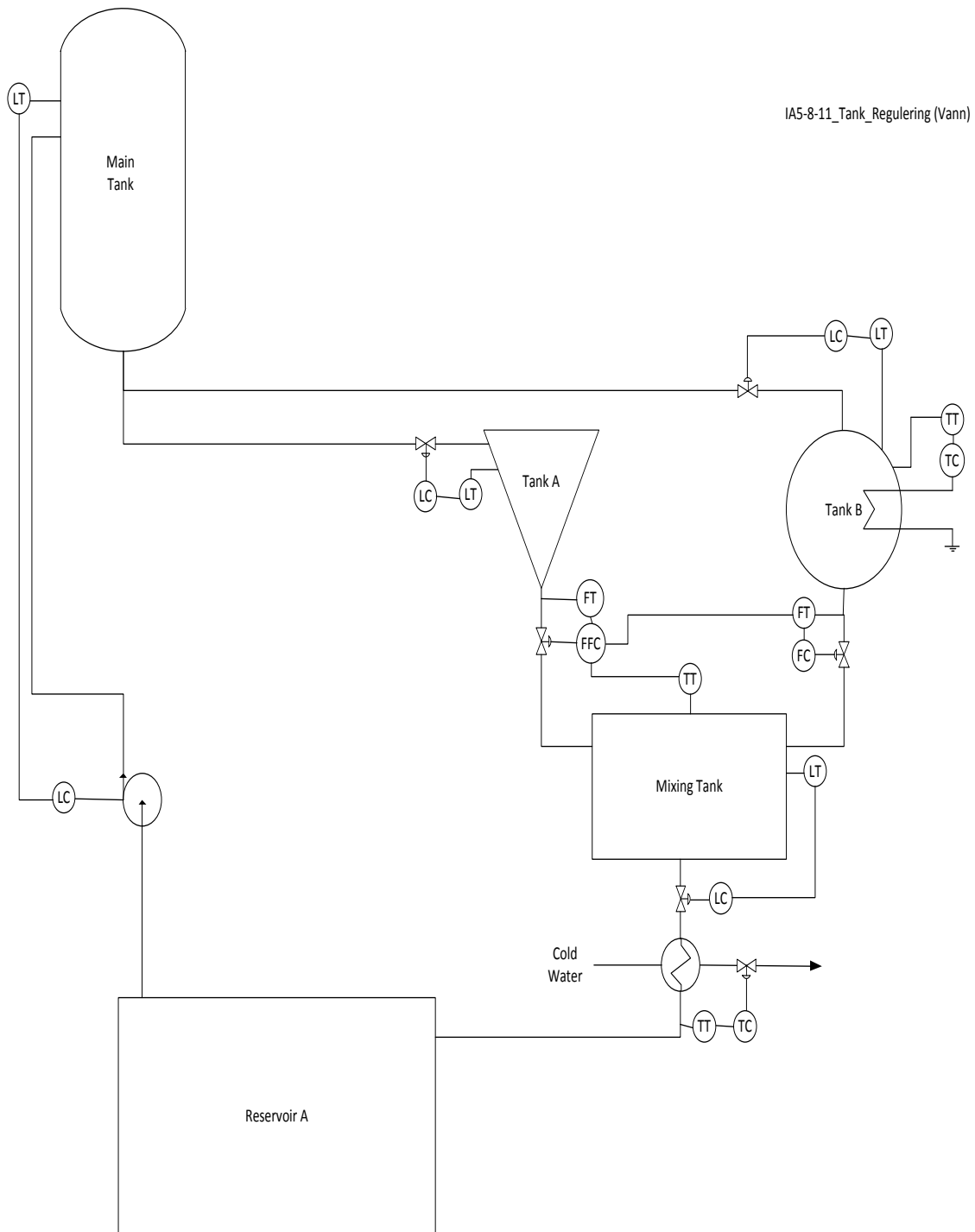
$$Re = \frac{v * d}{\nu}$$

Hvor:

- v =gjennomsnittlig strømningshastighet
- d =indre diameter i røret
- ν =kinematisk viskositet i væsken

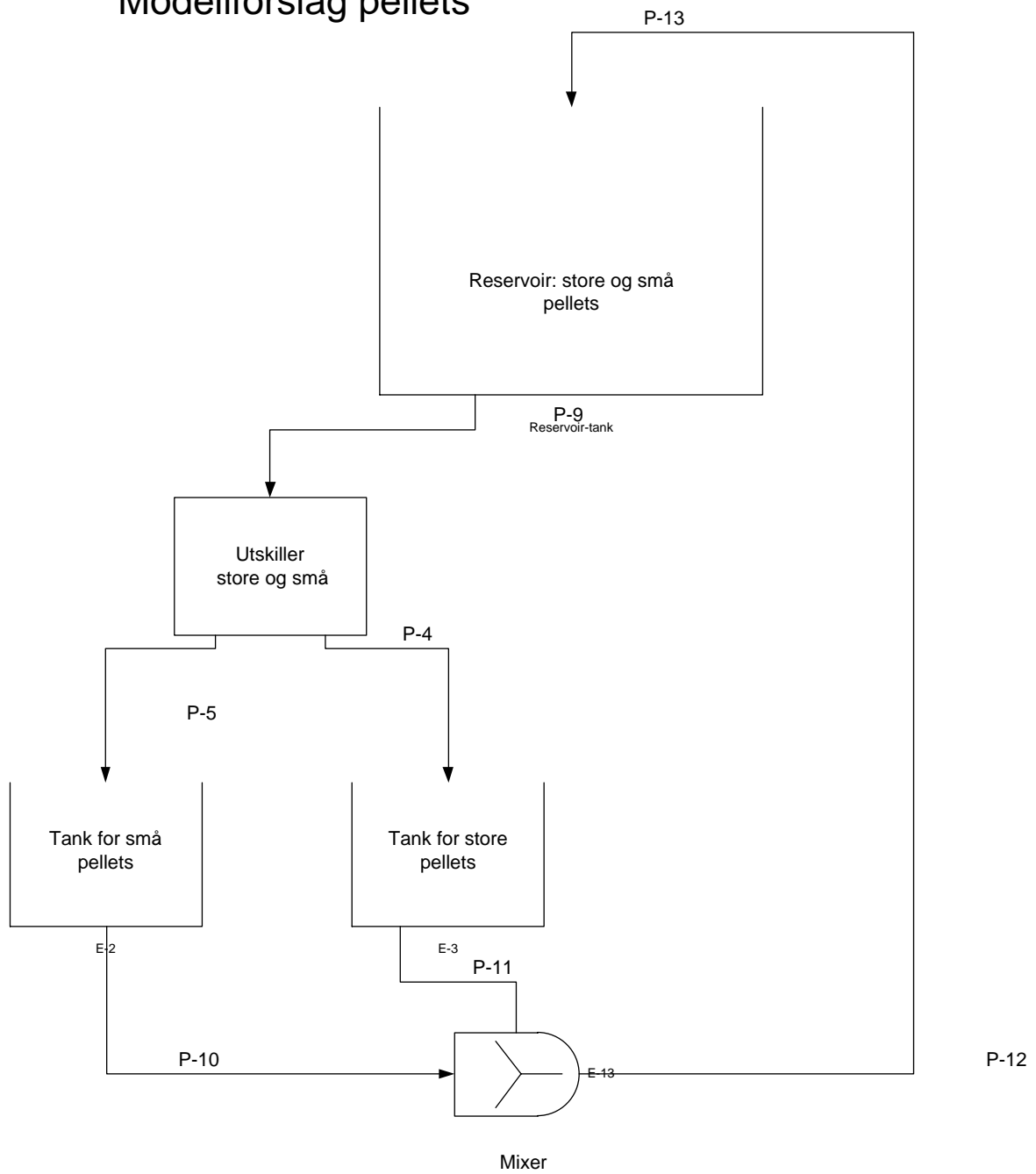
Ved laminær strømning er Re-tallet under 2300, turbulente strømninger har Re-tall fra 2300 og oppover. Re-tall mellom 2000 og 3000 ligger likevel i et usikkert område.

VEDLEGG K SKISSE AV NIVÅREGULERINGSMODELL

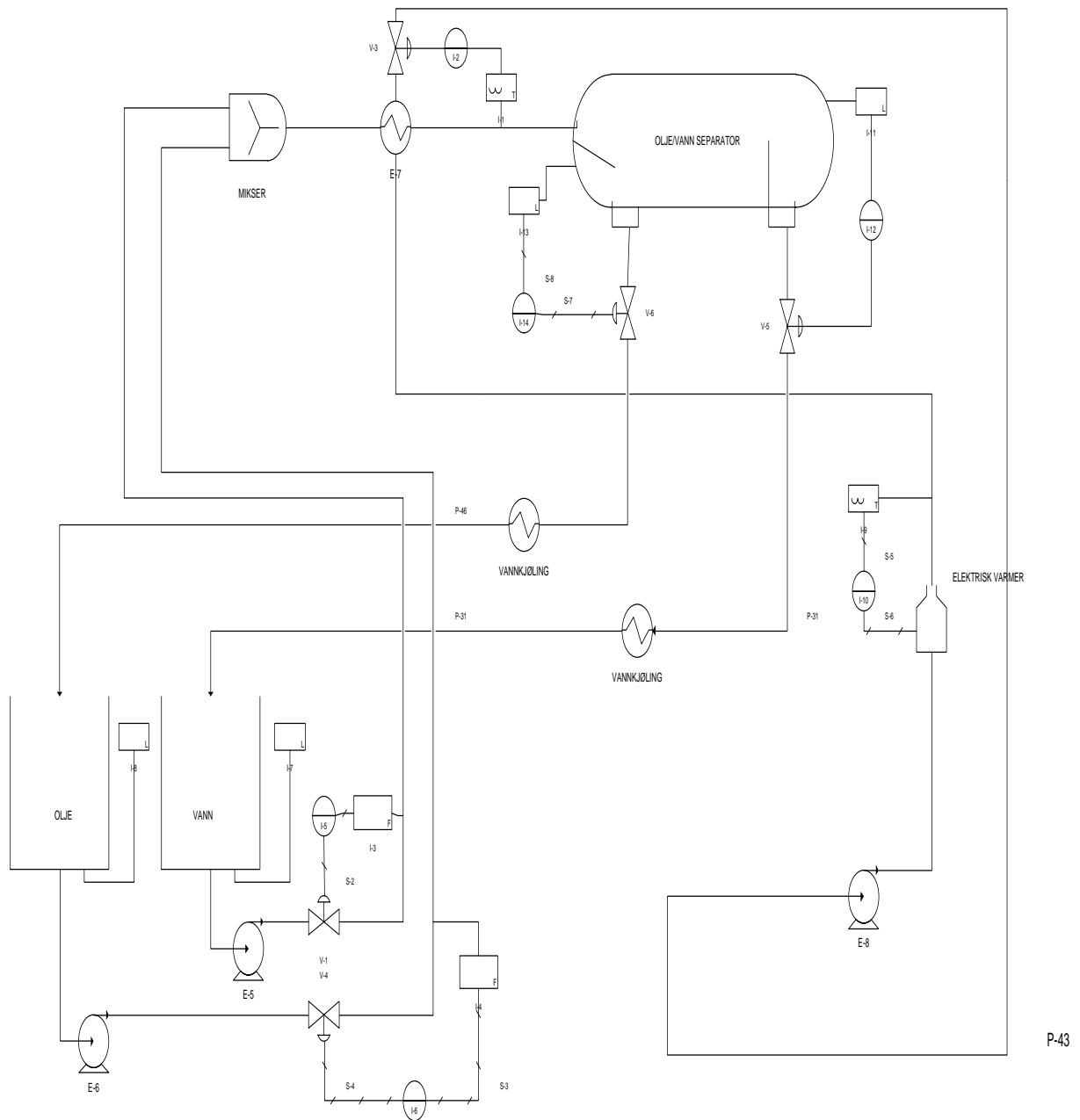


VEDLEGG L SKISSE AV PELLETSMODELL

Modellforslag pellets



VEDLEGG M SKISSE AV OLJE/VANNSEPARATOR



VEDLEGG N KONSTRUKSJONSTEGNINGER AV TANKER

