

Technische uitvoering van regelsystemen

1. Inleiding

In de voordrachten voorafgaande aan deze is ingegaan op diverse aspecten van meten en regelen en op de mogelijkheden ermee. Dit meten en regelen dient in een technische uitvoering volgens de gestelde eisen samengevoegd te worden met de procesapparatuur tot een complete installatie, welke na de opstart bedrijfszeker kan blijven werken. Deze toepassing en uitvoering is het beste toe te lichten aan de hand van de stadia, die een project doormaakt vanaf het ontwerp tot en met de realisatie.



IR. A. J. J. TIMMERMANS
SBB/UKF

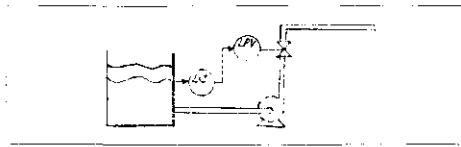
Na de voorstudie, bekrond door een positieve beslissing van de directie, volgt de ontwikkeling van bijna elke procesinstallatie, of dit nu een waterleidingbedrijf, een chemische fabriek of een kernenergiecentrale betreft, nagenoeg de volgende stadia:

1. Bepaling van de gedetailleerde doelstelling, omvang en plaats van de installatie.
2. Ontwerp van globaal processchema.
3. Specificatie van technische deelhandelingen en grootte van stofstromen.
4. Ontwerp van het systeem van procesbeheersing.
5. Specificatie van apparatuur en installatie.
6. Montage.
7. Inbedrijfstelling.
8. Bedrijfsvoering en onderhoud.

De aspecten met betrekking tot de meet- en regeltechniek komen aan de orde onder de stadia 4 t/m 8 en worden vaak bepaald door een compromis met andere vakgebieden als processtechnologie, werktuigkunde, bouwkunde en elektrotechniek. De meet- en regeltechnische toepassingen blijven in dit verhaal beperkt tot de punten 4 en 5. Bij de keuze die in deze stadia wordt gemaakt, dient terdege rekening te worden gehouden met de gevolgen ervan in de erop volgende stadia: de montage, inbedrijfstelling, bedrijfsvoering en onderhoud.

2. Het ontwerp van het systeem voor procesbeheersing

Bij het ontwerp van dit systeem wordt uitgegaan van het globaal processchema en de eisen te stellen aan de afzonderlijke



Afb. 1 - Basissymbolen voor de procesinstrumentatie [1].

1. Het grondsymbool voor een instrument is een cirkel met een middellijn van ca. 10 mm; het wordt getekend met een dunne lijn. In het grondsymbool is een lettercode voor de meetfunctie en de omzetsfunctie gegeven. Het is door een dunne getrokken lijn (meetlijn) verbonden met een meetpunt; door een dunne streeplijn (stuurlijn) kan het verbonden zijn met andere symbolen.

Niveauregelaar

- L betekent Level
- C betekent Controller
- V betekent Valve

2. Het symbool voor bedienend element (motor) is een cirkel met een middellijn van ca. 5 mm met daaraan een getrokken lijn. Door die getrokken lijn is het symbool verbonden met het symbool voor het corrigerend element.

3. De meetfunctie van het instrument wordt aangegeven met de eerste letter van de code in het grondsymbool volgens onderstaande betekenis.

- F = stroming (flow)
- L = niveau (level)
- P = druk (pressure)
- Q = kwaliteit (quality) gevolgd door aanduiding buiten de cirkel bijv. pH
- T = temperatuur (temperature)
- U = mechanische verplaatsing
- W = gewicht (weight)
- X = andere meetfuncties

4. Een codeletter is eventueel aan de meetfunctie toe te voegen met de letters

- d = verschil (differential)
- r = verhouding (ratio)

5. De omzetsfunctie wordt aangegeven met letters op de tweede en volgende plaatsen:

- I = aanwijzend (indicating)
- R = registrerend (recording)
- C = regelend (controlling)
- T = zendend (transmitting)
- X = omzettend anders dan voorgaand
- A = alarmerend (alariming)
- S = ingrijpend (switching)

procesonderdelen (bijv. filtreren, mengen, neutraliseren tot gewenste pH-waarde, opwarmen of afkoelen). In het processchema worden de nodige regelkringen en metingen aangegeven. Hierbij wordt gebruik gemaakt van basissymbolen voor de procesinstrumentatie als vastgelegd in het normblad NEN 3157.

Een samenvatting hieruit wordt gegeven in afb. 1 [1].

Dit ontwerp omvat zo nodig:

- a. Het aanbrengen van stabiliserende regelkringen en programmasturing tijdens normaal bedrijf; een en ander volgens de bedoeling van de procesontwerper.
- b. Procedures en middelen voor het starten en stoppen (in en uit bedrijf nemen van de installatie).

c. Het ontwerp van een automatisch systeem, zgn. tripsysteem, voor het automatisch veilig stellen van proces en installatie, ter voorkoming van gevaar voor mensenlevens, grote apparatuurschade en/of proceswanorde.

d. Een systeem voor optimaliserende regeling.

In afb. 2 wordt een eenvoudig processchema gegeven voor het mengen van een processtroom (aangevoerd via een buffer) met een hulpstof tot een bepaalde eindkwaliteit en een bepaalde eindtemperatuur. Beide eisen zijn nodig voor de daarop volgende procesfase.

Met het oog op deze eisen worden regelkringen voorzien, waarbij om redenen van hoge nauwkeurigheid extra voorzieningen worden geëist en voor goede procesinformatie worden naast de regelkringen ook aanvullende meters aangebracht.

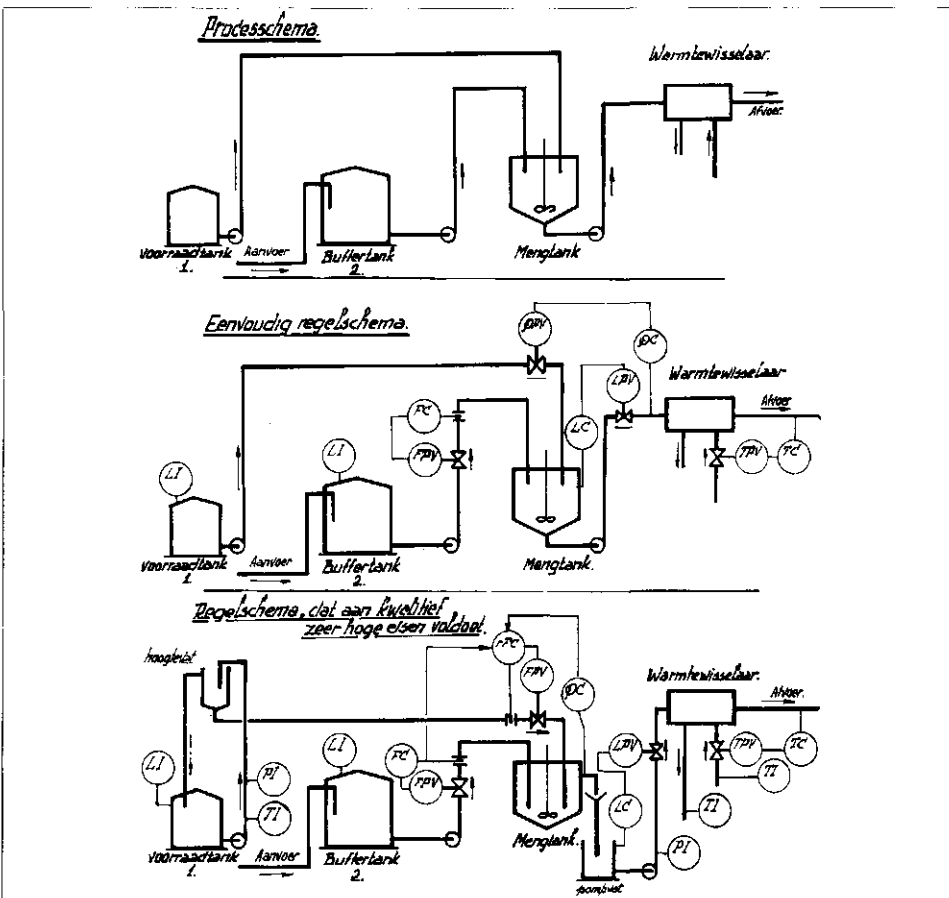
In afb. 2 wordt een eenvoudige oplossing (kwalitatief lage eisen gesteld) gegeven en een uitgebreide oplossing (kwalitatief hoge eisen gesteld).

Voor zeer speciale eisen en moeilijk regelbare procesonderdelen is het raadzaam in dit stadium reeds een specialist op regeltechnisch gebied te raadplegen.

In verband met het starten en stoppen van de installatie zullen naast meet- en regelapparatuur ook nog afsluiters worden aangebracht om het proces te kunnen starten en stoppen. De procedure van starten en stoppen dient daarom te worden omschreven. Dit kan handbediend ter plaatse of op afstand geschieden of gestuurd worden door een automatisch programma. Tevens dienen handafsluiters te worden voorzien om procesvaten te kunnen aftappen en meetapparatuur voor controle of onderhoud van het proces te kunnen scheiden.

Naast regelkringen voor processtabilisatie en meetinstrumenten voor procesinformatie worden ook instrumenten aangebracht met een grenswaardeschakeling. Deze grenswaardeschakelaars geven de ingangssignalen voor het alarmerings- en beveiligingssysteem, het tripsysteem (een logische schakeling), die de bedieningsman informeren over het passeren van de ingestelde limiet ofwel een automatische actie tot gevolg hebben (bijv. het sluiten van een klep of het stoppen van een pomp of roerwerk). Onder 4.4 wordt hierop nader ingegaan.

Voor een systeem van optimaliserende regeling is bijna altijd een computer nodig om de omvangrijke berekeningen uit te voeren. In het processchema is aan te geven welke instrumenten aan de randapparatuur van de computer dienen te worden aange-



Afb. 2.

TABEL I - Overzicht van specifieke kenmerken voor pneumatische en elektronische systemen [2]. Kritische Betrachtung: von W. Reinert, Dortmund; Regelungstechnische Praxis Heft 9, 1974, p. 222 t/m 229.

kenmerk	pneumatisch	elektrisch
miniaturisering	beperkt (-)	groot (+)
bewegende delen (slijtage)	meer (-)	weinig (+)
doorsnede transmissielijn	groot (-)	klein (+)
snelheid van overdracht	snel (-)	zeer snel (+)
afstand van overdracht	beperkt (-)	groot (+)
informatieverwerking	moeilijk (-)	eenvoudig (+)
verknoping van ingewikkeld systeem	beperkt (-)	eenvoudig (+)
opbouw logische schakeling	mogelijk (-)	eenvoudig (+)
verstelkracht	groot (+)	klein (-)
bescherming tegen corrosie	aanwezig (+)	kost moeite (-)
warmte-ontwikkeling	afwezig (+)	attention (-)
robuustheid	goed (+)	beperkt (-)
gevoeligheid voor stoorsignalen	beperkt (+)	aanwezig (-)
bescherming tegen explosieve gassen	overbodig (+)	noodzaak (-)
apparatuurkosten	lager (+)	hoger (-)
storingszoecken	eenvoudig (+)	specialistisch (-)

loten. Het ontwerp van dit systeem is zeer specifiek voor elke toepassing en wordt hier niet verder uitgewerkt.

Het processchema met daarin aangegeven alle meet- en regelapparatuur is het resultaat van het ontwerp en wordt het P- en I-schema, proces- en instrumentatieschema genoemd. Op grond van dit schema wordt de specificatie van meet- en regelapparatuur en dito installatie met detailtekeningen uitgewerkt.

3. Specificatie van meet- en regelapparatuur

3.1. Randvoorwaarden

Voordat de meet- en regelapparatuur en de meet- en regeltechnische installatie kan worden gespecificeerd, zullen een aantal voorwaarden bekend moeten zijn uit het algemene ontwerp van de installatie. Dit betreft:

a. De ruimtelijke situering van de fabriek met zijn procesonderdelen.

- b. Eisen over centrale en/of decentrale bewaking.
- c. Mate van automatisering en gewenst aantal bedieningsposten.
- d. Beschikbare ruimte voor opstelling van apparatuur.
- e. Gevarenklasse van ruimte voor opstelling van de meet- en regelapparatuur.
- f. Beperkingen voor keuze van apparatuur en fabrikaat met betrekking tot onderhoud. Deze beperkingen kunnen zo bepalend zijn, dat voor de verdere specificatie niet veel ruimte voor keuze in alternatieven meer overblijft. Meestal is dit niet zo en kan gekozen worden uit een installatie op pneumatische basis, elektrisch/elektronische of hydraulische basis.

3.2. Keuze van hulpenergie

De grootte, waarvan het wenselijk is deze te regelen, moet kunnen worden gemeten. Er zal een meetelement gezocht moeten worden dat voldoet aan de eisen die het proces stelt en dat een standaard signaal oplevert voor verdere verwerking in de regelaar, hetzij ter plaatse of op grote afstand in een bedieningskamer [1]. Er bestaat een grote verscheidenheid van signaaltvormers met hulpenergie: perslucht, elektrische energie of hydrauliek. De meeste instrumenten hebben maar weinig hulpenergie nodig. Meer energie is nodig voor het overwinnen van verstellkrachten in de corrigerende organen, regelkleppen, schuifafsluiters of anderszins. Alleen bij het overwinnen van zeer grote verstellkrachten wordt middels een slaafsysteem van hydrauliek gebruik gemaakt, voor de overige gevallen wordt een pneumatisch aangedreven motor aangewend. De keuze van hulpenergie blijft meestal beperkt tot een keuze van pneumatisch of elektrisch.

Pneumatisch: Het pneumatische meet- en regelsysteem is het eerste ontstaan en nagevoeg aan het einde van zijn ontwikkeling. Het kent een groot aantal voordelen en een aantal nadelen (zie tabel I).

Elektrisch: Het elektrische meet- en regelsysteem kent vele uitvoeringsvormen en is nog volop in ontwikkeling. Het biedt goede perspectieven voor miniaturisering en automatische gegevensverwerking met behulp van computers.

Bij verdere ontwikkeling van micro-elektronica en microcomputers kan deze vergelijking in de toekomst ten voordele van de elektrische kant doorslaan. Bij de huidige stand van de techniek zal een ontwerper, die kostenbewust ontwerpt en voor onderhoud met beperkt geschoold personeel te maken krijgt, de voorkeur geven aan een pneumatisch systeem.

Vervolgens zal hij kiezen voor een gemengd pneumatisch-elektrisch systeem en pas als het technisch noodzakelijk is wegens snelheid van regelen, grote te overbruggen afstand of koppeling met computer-systemen zal hij een elektrisch systeem kiezen.

3.3. Keuze van transmissie van signalen

Met de keuze van de hulpenergie hangt nauw samen de keuze van het transmissie-systeem. Bij korte afstanden zal bij voorkeur van pneumatische signalen gebruik worden gemaakt, omdat met de eenvoudige aandrijving van het corrigerende orgaan, de regelklep, aan de meeste proceseisen kan worden voldaan [3].

Bij grote afstanden kan voor een enkele regelkring het signaal van pneumatisch naar elektrisch worden omgevormd en bij de klep weer worden terug getransformeerd. Voor grote installaties zal deze wijze van werken kostbaar worden en kan beter op volledig elektrische regelsystemen worden overgegaan en het klepstuursignaal zo zo nodig worden omgevormd.

Moeten meer signalen over grote afstand worden overgebracht, dan worden bij parallel overdracht de kabelkosten zeer hoog. Het verzenden van signalen in serie in digitale vorm, al of niet met gebruik van een procescomputer, kan een economisch betere oplossing geven (zgn. telemetrie). Voor beperking van pneumatische transmissie zie literatuur [4].

3.4. Specificatie van de meet- en regel-apparatuur

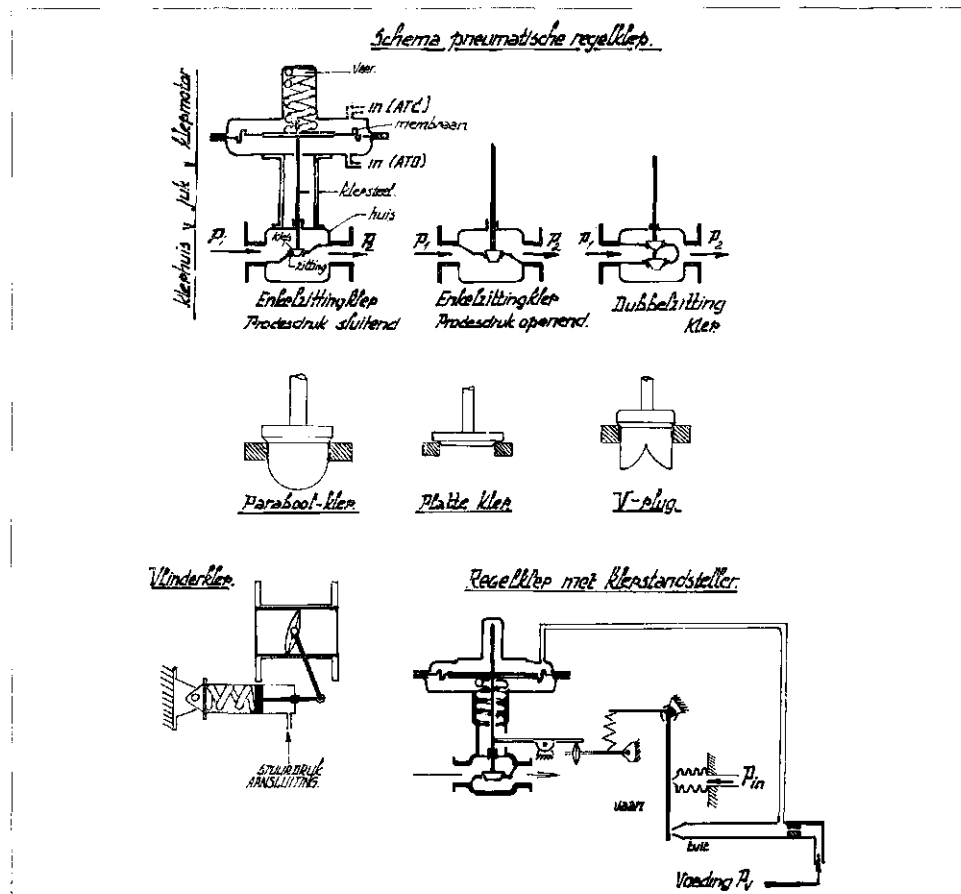
Op grond van het P- en I-schema van de stofstromen uit de technologische specificatie, de gestelde randvoorwaarden en de keuze van hulpenergie en transmissie-systeem, kan tot specificatie van de meet-instrumenten, meetwaarde-omvormers, regelaars, regelkleppen en grenswaarschakelaars worden overgegaan. Hierbij kunnen voor lokale oplossingen nog alternatieven worden gesteld waarbij meestal de meest economische kan worden gekozen. Voor enkele gevallen zullen specifieke regeltechnische eisen bepalend zijn.

Voor deze laatste gevallen is het raadzaam een specialist te raadplegen. Voor die toepassingen waarbij hoge eisen gesteld worden aan de snelheid van regelen, zeer speciale regelacties nodig zijn of vele acties gelijktijdig uitgevoerd moeten worden, kan de inzet van een proces-computer met directe digitale besturing worden overwogen. De regelaars worden dan niet als 'hardware', afzonderlijke apparatuur, gekocht maar als 'software', rekenprogramma's in de computer voorzien. Bij de specificatie wordt vaak van voor-

Afb. 3 - Regeling hoeveelheid NH₃-gas naar Neutra.

VOF nr.	code	omschrijving	fabr. en type	meetbereik	technische gegevens o.a. materiaal en inbouwsysteem	plaats van opstelling	aanvang d.d.	mag. nr. reg. mot. W.O.	theoret. leverbaar	opmerking
1.	FE	meetklem 4 100	Z-1/2 D Foxboro	0-20" wt. 0-100" wt.	Berekening nr. BM 7028-001-9	29,5 mtr. veer	AV 170610	pos. 7028		
2.	FT	OP-zender	10 A Foxboro		ZM nr. 7028-002-1	IX 5-8	AV 170611			
3.	PFX	Wortelreक्टर	Moore model 65		ZM nr. 7028-014	100L 5	AV 170618			
4.	FR	Redander	Foxboro M620	0-100 bar.	ZM nr. 7028-006	MK 1000.9.38	AV 170615			2
5.	FIC	Regelaar	Foxboro M621. SIVF	0-100 bar.	ZM nr. 7028-008	MK 1000.9.38	AV 170616			1
6.	FEV	3-weg klep e.l. bed.	Horion CFA-M4		ZM nr. 7028-011		AV 170616			3
7.	FPV	2-weg regelafsluiter	Culete M60. NW10	0-15	ZM nr. 7028-012		AV 170602			

1. Uitgang IFX 406 is setpoint van FIC 430.
2. E₁ = FR 430, E₂ = vrij.
3. FEV 430 (pos. 6) monteren op FPV 430 (pos. 7).



Afb. 4.

gedrukte bestelformulieren gebruik gemaakt en worden instrumenten van gelijke soort verzameld en als totaal besteld. Voor een aantal metingen, bijv. meetschijfmetingen dienen vóór het ontwerp berekeningen te worden uitgevoerd. Een voorbeeld van instrumentenspecificatie is in afb. 3, lijst van instrumenten, opgenomen. Bij de keuze van instrumenten is het noodzakelijk aandacht te besteden aan de maximale capaciteit, aan de normale proceswaarde en aan de vereiste minimum- en maximumwaarde

van de voorkomende variaties (rangeability) Soms is het noodzakelijk de totale procesvariatie van meetwaarden met 2 meters of meetgebieden te bestrijken. Voor de keuze van instrumenten kan men uitgaan van de fabrieksdokumentatie of van instrumentenevaluatie door de Stichting WIB (Working party of Instrument Behaviour). Dit is een stichting van instrumentengebruikers welke instrumenten onderzoekt op specificaties.

3.5. Regelafluiters

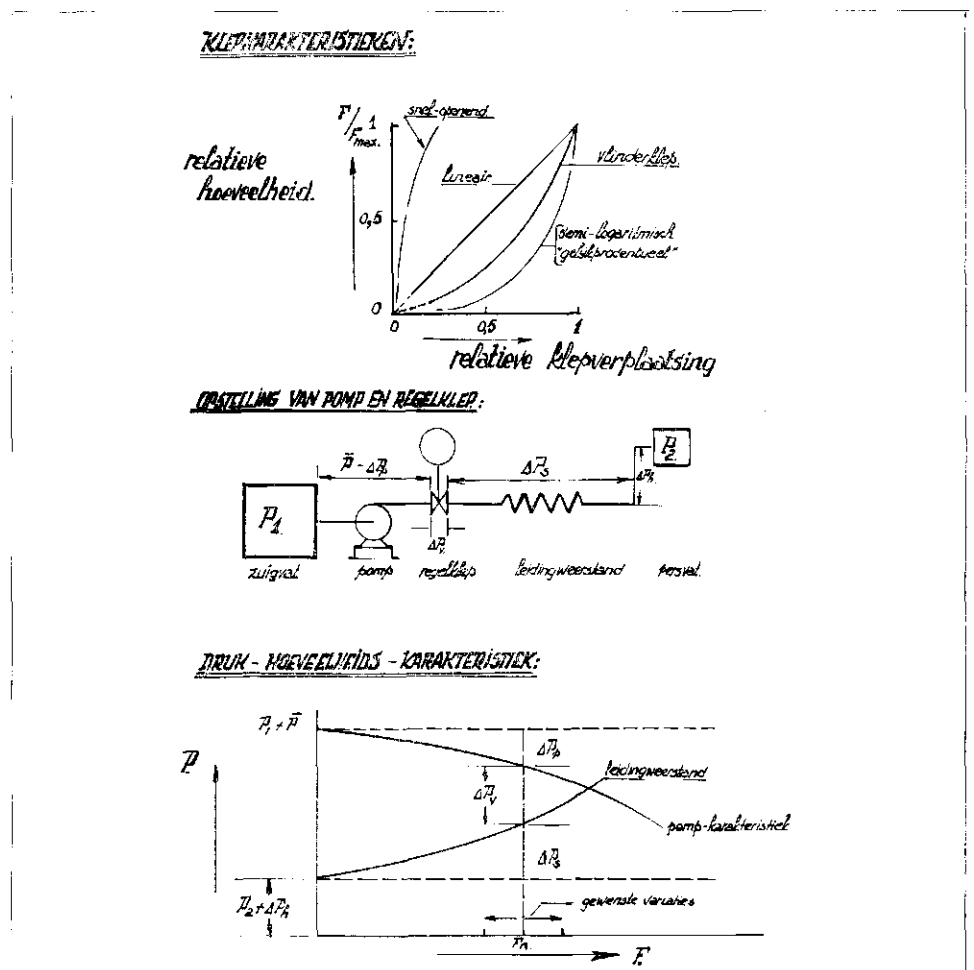
Aangezien in de andere voordrachten van de vakantieleergang slechts beperkt aandacht wordt geschonken aan regelafluiters wordt er hier uitvoeriger op ingegaan.

Voor corrigerende organen wordt in de procesindustrie voor het grootste gedeelte van regelkleppen gebruik gemaakt. Voor transport en distributie van grote hoeveelheden wordt bij voorkeur van toerental geregelde pompen gebruik gemaakt wegens beperking van het energieverbruik. Er zijn vele uitvoeringsvormen van regelkleppen bijv. met schuifbeweging of draaiende beweging, vlinderkleppen, kogelkleppen, schuifkleppen. Het meest toegepast zijn de plugkleppen met schuifbeweging en de vlinderkleppen. Het werkingprincipe van alle kleppen in hun toepassing is hetzelfde. Bij een ter beschikking staand drukverschil wordt de klepopening groter of kleiner gemaakt en wordt tengevolge daarvan door weerstandsverandering in de leiding met regelklep de doorstromende hoeveelheid beïnvloed. De klepverplaatsing wordt meestal gerealiseerd met een klepmotor gebaseerd op een met luchtdruk gestuurd membraan en veerterugstelling of op een cilinder met zuiger, al of niet voorzien van een klepstandsteller.

3.5.1. Uitvoering van regelkleppen [5]

In afb. 4 is het schema gegeven van een pneumatische regelklep met schuivende beweging. Bij een drukveer in de klepmotor wordt door luchtdruk onder het membraan aan te brengen de klep geopend. Alvorens de klep vanuit de dichtstand kan worden geopend moet een kracht worden overwonnen gelijk aan het kleppoppervlak vermenigvuldigd met de verschilddruk over de klep. Om het probleem van procesdruksluitend zijn te ondervangen kan de stroominrichting door de klep omgekeerd worden (zie afb. 4). In gesloten stand zal de klepmotor een kracht moeten overwinnen van het kleppoppervlak maal de verschilddruk over de klep. Deze klep wordt dan procesdrukopenend genoemd. Het probleem van de open- en sluitkrachten kan grotendeels opgevangen worden met de uitvoering, waarbij de klep ontlast wordt, o.a. de lubbelzittingklep (zie afb. 4).

De klep voorzien van luchtmotor met een drukveer en te openen door druk onder het membraan aan te brengen, wordt een klepmotor genoemd met werkingsrichting air to open (ato). De klep met luchtmotor met een trekveer en te sluiten door druk onder het membraan aan te brengen, wordt een klepmotor genoemd met werkingsrichting air to close (atc). Bij wegvallen van luchtdruk zal de regelklep afhankelijk van de werkingsrichting van de gekozen luchtmotor sluiten of openen. Deze eigenschap wordt



Afb. 5.

gebruikt om bij uitval van de hulpenergie een voor het proces veilige stand te bereiken. Dit soort kleppen kunnen geleverd worden met veel soorten van kleplichamen: de paraboolklep, de platte klep en de V-poort. Met deze poortvormen kunnen diverse klepkarakteristieken (klepverplaatsing versus doorstromende hoeveelheid) gerealiseerd worden [6]. Naast dit type klep is veel voorkomend de vlinderklep. De klep is een schotel welke door middel van hoekverdraaiing de doortocht van de leiding kan variëren en daarmee ook de doorstromende hoeveelheid. De vlinderklep wordt aangedreven d.m.v. een hefboom en cilinder (zie afb. 4), een draaicilinder of een worm en wormwieloverbrenging. De laatste jaren wordt de kooiklep steeds weer toegepast. Daarnaast zijn nieuwere typen op de markt gekomen als schotelklep (Camflex), kogelkleppen (V-ball) en voor vlinderkleppen: Fishtail, Epic en Minitorque (Maisonelan).

3.5.2. Klepstandsteller

De pakkingbus welke nodig is voor de afdichting van de procesvloeistof langs de klepsteel of draaiaas, veroorzaakt wrijvings-

krachten welke tot hoge waarden kunnen oplopen. Hiernaast zijn er krachten, die het gevolg zijn van het drukverschil over de klep en de stroming door de klep. Als deze krachten hinderlijk zijn bij het gebruik van de klep wordt een klepstandsteller toegepast. Dit is een extra regelkring welke dient om de pneumatische klep nog eens extra te bekrachtigen. De stand van de klepsteel wordt via een arm of een ander overbrengmechanisme met de verplaatsing van een balg t.g.v. de binnenkomen stuurdruk p_{in} vergeleken, waarbij dit verschil de stuurdruk voor de klep zelf beïnvloedt d.m.v. een vaan-tuit systeem. Met elke stuurdruk correspondeert een vaste stand van de klep. Door deze klepstandsteller wordt een grote bekrachtiging verkregen, een grotere nauwkeurigheid en een hogere snelheid. (Zie afb. 4).

3.5.3. De klepkarakteristiek

Bij de pneumatische klep is de klepstand (stand van de klepsteel en het kleplichaam t.o.v. de klepzitting) evenredig met de stuurdruk. Het verloop van de doorlaatopening in de klep met de klepstand en daarmee het

verloop van de doorstromende hoeveelheid F bij constant drukverschil over de klep kan nog vrij gekozen worden. Het verband tussen de relatieve klepstand x (0 is gesloten en 1 is vol open) en de relatieve hoeveelheid F

in grafische vorm wordt de klep- F_{max} -karakteristiek genoemd. Een aantal klep-karakteristieken is gegeven in afb. 5. De doorstromende hoeveelheid is een functie van de lichte hoogte $F = f(x)$. Voor een lineaire klep is $F = C_1 \cdot x + C_2$. Voor een exponentiële (logaritmische) klep is $F = C_3 e^{C_4 \cdot x} + C_5$. Bij elk van deze types bestaat de moeilijkheid, dat in het laagste deel van het bereik geen regelwerking meer aanwezig is. Een regelklep kan men dan meestal ook niet als afsluiter gebruiken en moet liefst door handafsluiters worden voorafgegaan en gevolgd. Het effectieve bereik wordt uitgedrukt in het begrip 'rangeability', dat is de verhouding tussen de maximale en minimale regelbare hoeveelheid; deze bedraagt voor een goede klep ongeveer 50.

3.5.4. Klepberekening [1]

De grootte van de regelklep wordt opgegeven door zijn k_v -waarde, dat is het aantal m^3/h water dat door de geheel geopende klep stroomt bij een drukverschil over de klep van 1 bar.

In de Engelse literatuur wordt gewerkt met de C_v -waarde, dat is het aantal US-gallons water dat per minuut door een klep stroomt bij een drukverschil over de klep van 1 pound per vierkante inch.

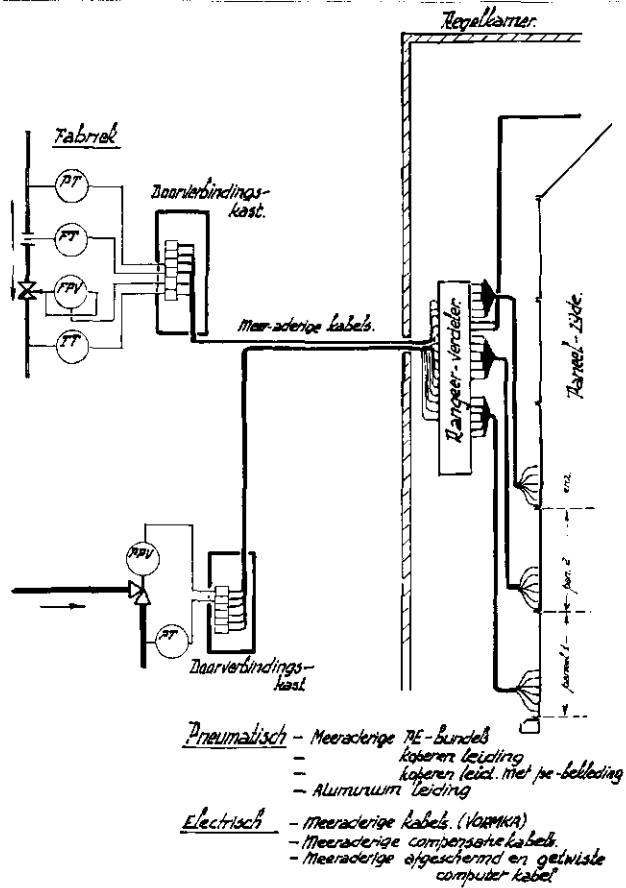
Voor de klepberekening met een variabele opening en variabele verschildruk geldt de vergelijking van de hoeveelheid:

$$F = k_v \cdot x \cdot \sqrt{\frac{\Delta p_v}{\rho}}$$

waarin:

- k_v = de evenredigheidsfactor
- x = de relatieve klepverplaatsing
 $0 < x < 1$
- Δp_v = de verschildruk over de klep
- ρ = de soortelijke massa van het medium

In de praktijk geldt, dat het drukverschil over de klep niet constant is en zowel de klep als de leiding een weerstand voor de stroming vormt. Bij het ontwerp van de installatie zal de procesafdeling arbitrair de beschikbare drukval voor regelkleppen vaststellen [7]. Tezamen met de gewenste hoeveelheid en hoeveelheidsvariatie en overige procesgegevens zal de instrument-engineer een voorlopige klepberekening uitvoeren (berekening van vereiste k_v en keuze van gewenste k_v) en een diameter van het klephuis kiezen. Deze laatste wordt meestal gelijk gesteld aan de leidingdiameter.



Afb. 6 - Transmissie systeem.

Alleen als de gewenste k_v -waarde kleiner is dan 40 % van de k -waarde behorende bij de diameter van de leiding, dan wordt op een kleiner klephuis overgegaan.

Nadat de werkelijke pijpsituatie bekend is (bijv. aan de hand van een model of van pijptekeningen) en nadat de pompkarakteristieken zijn ontvangen, zal in de meeste gevallen herberekening noodzakelijk zijn om na noodzakelijke wijzigingen in het totale ontwerp de uitgangsgegevens te controleren.

De berekende maten van regelkleppen die tevens de maten van blokkeer- en omloopafsluiters bepalen moeten zo snel mogelijk worden opgegeven om voor de pijpfdeling de pijpstudies mogelijk te maken.

De regeltechnicus zal de procedure liever als volgt aanpakken. Als in de ontwerp-situatie nog het hele leidingcircuit met inbegrip van de klep moet worden gedimensioneerd, is het zinvol om uit te gaan van de gewenste F/F_{max} , en de toelaatbaar geachte variaties. Uit deze gegevens moeten dan grootte en type worden bepaald van de regelklep en de daarbij passende kleine pomp. Aan de regelklep wordt dan een voor de regeling gewenste karakteristiek gegeven.

Een opstelling van pomp en regelklep wordt gegeven in afb. 5.

Wanneer de doortocht van de klep vergroot wordt, neemt de stroom toe. Het drukverlies over de leiding stijgt dan kwadratisch zodat de stroom minder toeneemt dan volgens de klepkarakteristiek en klepstand verwacht wordt (zie druk-hoeveelheidskarakteristiek van pomp en leidingstelsel in afb. 5). Dit houdt in dat de regelklep en het leidingstelsel voor alternatieven enige malen doorgerekend moeten worden en het gekozen alternatief op de gewenste variaties, nodig voor het opvangen van storingen, getoetst moet worden. Voor berekeningsformules en klepkeuze wordt verwezen naar de uitgebreide literatuur hierover [7, 8, 9].

4. Specificatie van de meet- en regeltechnische installatie

4.1. Opstelling van de instrumenten

Bij de opzet van de meet- en regeltechnisch installatie gelden dezelfde randvoorwaarde als voor de specificatie van de apparatuur. Hiernaast zullen in sterke mate de onderhoudsaspecten in aanmerking moeten worden genomen. De apparatuur in de fabriek moet zodanig worden opgesteld, dat de omgeving van het instrument, bijv. proceslekkage of schoonmaken van procesapparatuur, geen extra onderhoud oplever

worden, zijn zeer hoog. Ir. Van Tussenbroek zal op het aspect bedrijfszekerheid in zijn lezing verder ingaan. Verdere punten van belang bij het ontwerp van het systeem van procesbewaking:

- Bij een instrumentele beveiligingsketen dient van eigen zenders en/of detectoren en uitvoeringsorganen gebruik gemaakt te worden (d.w.z. gescheiden van de regeling). Ook de procesaansluiting van de zenders dient gescheiden te zijn.
- Indien twee uitvoeringsorganen aanwezig zijn (één voor regeling, één voor beveiliging), dienen beiden ingeschakeld te worden voor de beveiliging.

— Toepassen van een overbruggings-schakeling voor overbrugging startfase, voor mogelijke productie bij defect instrument en controle van de werking of werkpunt van het instrument in de keten.

— Meervoudig uitvoeren van gedeelten van de beveiligingsketen ter verhoging van de bedrijfszekerheid, toepassen van overtaligheid 'redundancy'.

— Inbouwen van een mogelijkheid tot controle van het systeem.

— Toepassen van instrumenten en onderdelen met een 'fail safe' principe.

— Beveiligingen mogen niet zelf herstellend zijn.

— Er is een eenduidig systeem nodig voor optische signalering, dat eenduidig aangeeft welke abnormale condities zijn en in welke staat van bedrijf het proces is.

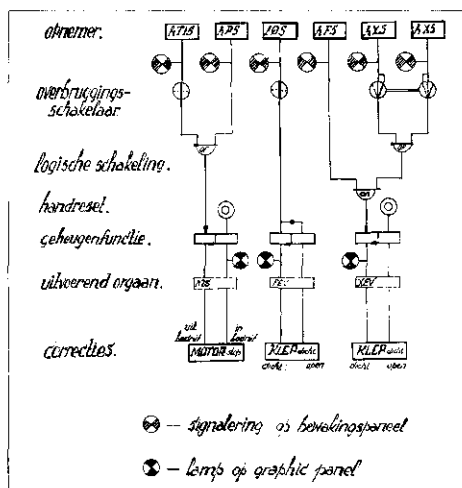
— Een goede documentatie van de installatie, logische schema's, relais-schema's en bedradingstekeningen.

4.4. Opbouw van het systeem voor hulpenergie

Aan de hulpenergie van meet- en regelinstrumenten worden zware eisen gesteld qua bedrijfszekerheid. Enerzijds betreft dit de wens om zo betrouwbaar mogelijke informatie te verkrijgen en anderzijds dat bij onverhoopte uitval van deze hulpenergie het proces zo wordt veilig gesteld, dat geen mensenlevens gevaar lopen, geen materiële schade ontstaat en zo min mogelijk proceswanorde wordt veroorzaakt. Daar waar zeer hoge eisen aan de bedrijfszekerheid worden gesteld, wordt voorzien in een staande reserve of lokale extra voorziening. Met name voor computersystemen wordt een zekerstelling van de elektrische voeding noodzakelijk geacht evenals voor de voeding van het systeem van procesbewaking.

4.4.1. Pneumatische hulpenergie

De lucht welke dient voor het veiligstellen van de werking van meet- en regelapparatuur moet aan hoge eisen voldoen, opdat



Afb. 8 - Schema voor procesbewaking.

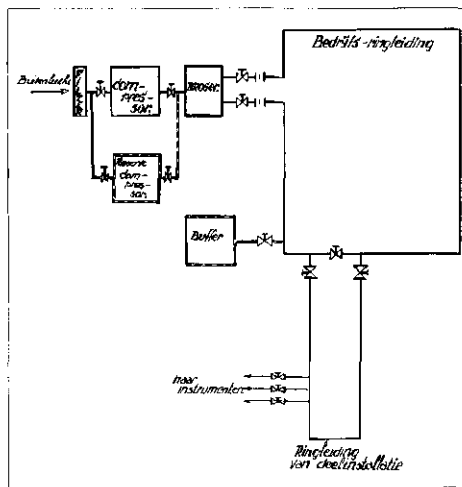
de instrumenten met kleine nozzles niet verstopten, de instrumenten niet vervuilen of corroderen.

De belangrijkste eisen zijn:

- de lucht moet droog zijn, partiële druk van waterdamp moet kleiner zijn dan 1 mbar (0,001 kgf/cm²) absoluut;
- olievrij zijn;
- het gehalte aan deeltjes vaste stof in regellucht (droog en olievrij) mag niet groter dan 0,1 mgr per kg lucht;
- de lucht mag geen merkbare hoeveelheden van een vreemde stof bevatten;
- alle afnemers moeten over de vereiste druk kunnen beschikken; voor de meeste apparaten is nodig 21 psi ≈ 1,5 atm, en voor voldoende versterkkrachten aan de organen is 3 atm wenselijk;
- het instrumentenluchtnet mag onder geen beding een directe verbinding hebben met enig ander leidingnet.

Het voedingssysteem bevat een filter, compressor en droger. Voor de zekerstelling van de hulpenergie is het opstellen

Afb. 9 - Pneumatische hulpenergie.



van een reserve-compressor of het aansluiten van een buffer noodzakelijk. Het leidingnet kan het beste als een systeem van ringleidingen worden opgezet met zodanige plaatsing van afsluiters dat ten behoeve van reparaties of wijzigingen een deel van het net uit bedrijf genomen kan worden. Zie afb. 9.

4.4.2. Elektrische hulpenergie

Het is gebruikelijk de instrumenten met elektrische hulpenergie gestekkerd uit te voeren en elk instrument of kleine groep van instrumenten afzonderlijk te zekeren. Het wisselspanningsnet 220 V of een daarvan afgeleide spanning bijv. 24 V dc aangesloten op het bedrijfsenergienet, is zonder extra maatregel meestal vervuld met storingen, spanningspieken en spanningsonderbreking. Een aantal gangbare instrumenten kan dit niet verdragen. Vanwege bedrijfszekerheid van apparatuur die deel uitmaakt van het systeem van procesbewaking, zal het nodig zijn energie uitval gedurende korte tijd bijv. 250 msec of langere tijd 15 min. te kunnen overbruggen. Ook zal men rekening moeten houden met energie-uitval in welk geval men veilig uit bedrijf moet kunnen gaan. Voorzieningen [11]:

a. Gelijkstroom. De korte tijd van bijv. 250 msec kan meestal opgevangen worden met een tijdvertragende schakeling. Om de langere tijd te overbruggen is een accubatterij tussen te schakelen, die normaal wordt gebufferd door de voedings-eenheid. Valt de netspanning weg, dan neemt de accu stootloos de energievoorziening over.

b. Wisselstroom.

1. Een uit elektronische schakelingen opgebouwde gelijkstroom-wisselstroom-omvormer gevoed uit een accu, die weer via een gelijkrichter gevoed wordt (vermogen tot ca. 5 kW).
2. Een generator, permanent gedreven vanuit een accu, die weer continu geladen wordt via een gelijkrichter (tot ca. 10 kW).

4.5. Indeling van de centrale bedieningskamer en het meetpaneel [5]

De centrale bedieningskamer wordt in nieuwe ver geautomatiseerde fabrieken tevens ingericht als verblijfsruimte van de bedieningsvaklieden.

In deze ruimtes zijn alle belangrijke meet- en regelinstrumenten en signaleringen van de betreffende fabrieken ondergebracht. In het paneel worden de instrumenten meestal opgesteld in volgorde van de procesafloop. De informatie uit het beveiligingssysteem over de staat van de abnormale condities in het proces wordt weer-

gegeven in relatie tot de procesvolgorde. Het plaatsen van instrumenten in een grafisch schema van het proces is in de chemische industrie weer achterhaald wegens de geringe flexibiliteit en de te grote afmetingen. Het toepassen van semi-grafische panelen, d.w.z. de instrumenten n het paneel en het processchema erboven, s voornamelijk nuttig in de opstartfase van het proces en voor instructiedoeleinden. Slechts in zeer specifieke toepassingen heeft het zijn nut bewezen. Bij de groepering van instrumenten in de panelen wordt gelet op de goede zichtbaarheid en zodanige plaatsing, dat belangrijke en veelvuldig af te lezen of opnieuw af te stellen instrumenten zich op gemakkelijk te bereiken plaatsen bevinden. Het toepassen van vlakke panelen, geprofileerde panelen of lessenaars aan overzichtelijkheid en bereikbaarheid aanzienlijk verbeteren en leidt niet tot wezenlijke kostenverhoging.

Bij steeds grote wordende bedieningskamers aandacht besteed aan de overzichtelijkheid van de informatie. Dit is aanvankelijk alleen maar bereikt door miniaturisering met varianten als quick scan en devitatie-aanduiding en door invoering van groepsmelding en eerstmelding in de signalering. Door de inzet van rekenautomaten voor gegevensverwerking kan een beter overzicht aan de informatie en overzichtelijker vooringsmelding worden gegeven. Aanvankelijk is alleen gebruik gemaakt van typemachines, 'hard copy'. De laatste tijd is een sterke ontwikkeling in gang gekomen in de toepassing van beeldschermen, 'soft copy'. Er wordt zeer veel over deze ontwikkeling gepubliceerd, maar veel bedrijfservaring is er nog niet.

In tegenstelling tot de typemachines geeft de presentatie via het beeldscherm meer mogelijkheden. Diverse grafische vormen zijn mogelijk om informatie te comprimeren en trends aan te geven. In hoeverre door deze technieken de grote regelkamers en panelen met instrumenten gereduceerd zullen worden tot een lessenaar met beeldschermen, keuzeschakelaars, typemachines en een gemakkelijk bedienbare projector voor de processchema's zal de tijd ons leren. De moeilijkste stap voor de bedieningsman, gewend aan de conventionele regelkamerpresentatie, is de overgang van totale parallel-informatie naar een zeer grote mate van serie-informatie.

5. Kostenaspecten

In de chemische industrie bedraagt de instrumentatie-investering (instrumentenkosten plus kosten voor montage) 5 tot 15 % van de totale investering. Dit is mede afhankelijk van de graad van automatisering. Voor drinkwaterleidingbedrijven zijn mij hierover geen cijfers bekend. Vanuit de instrumentenkosten is ook op grond van ervaringscijfers te komen tot de totaalkosten van de installatie. De instrumentatiekosten van een fabriek bestaan uit de instrumentenkosten plus montagekosten, welke voor grotere installaties gelijkgesteld kunnen worden aan de instrumentenkosten, plus kosten voor de procesbewaking, welke op ca. 20 % van de instrumentenkosten te stellen zijn. De kosten van de instrumentatie-installatie bedragen ca. 220 % van de instrumentenkosten.

Een andere ook gehanteerde onderverdeling van de 220 % van de instrumentenaanschafprijs voor de totale instrumentatie-

installatiekosten is de volgende [7]:

Aanschafprijs van instrumenten	100 %
Accessoires (filter, reduceer etc.)	10 %
Pijp- en montagematerialen	40 %
Totale kosten materialen	150 %
Installatiekosten (procesaansluiting + luchtaansluiting + montage)	70 %
	220 %

In tabel II worden de instrumentenkosten en montagekosten gegeven van enkele regelringen, resp. niveauregeling, hoeveelheidsregeling en pH-regeling. De daarin opgenomen montagekosten gaan uit van bestaande kabelbanen en bestaande meetpanelen waarop nog voldoende ruimte beschikbaar is om de enkele regelkring in op te nemen. Prijzen van enkele afzonderlijke instrumenten zijn:

dp-cell pneumatisch	f	750
flens dp-cell		1750
dp-cell elektrisch		1700
P+I-regelaar pneumatisch		1200
P+I-regelaar elektrisch		2400
P+I+D-regelaar pneumatisch		1600
Rotameter NW 100 + transm.		5000
Regelkleppen + standsteller:		
semilog 2-zits NW 100		2600
semilog 2-zits NW 200		5800
vlinderklep NW 200		2500
vlinderklep NW 500		3000
EMF-meter NW 100 + transm.		8300
Meetbuis NW 200		1500
Meetbuis WW 500		3000

TABEL II.

regelring	meetelement	regelklep + standsteller	regelaar	kosten instrumenten	montage	diversen	totaal
niveauregeling	borrelbuis transm. P	semilog 2-zits NW 200	P+I pneumatisch	f 8200	f 5000	f 2600	f 15800
	flens dp-cell transm. P	idem	P+I pneumatisch	8800	5000	2700	16500
	vlotterpot	vlinderklep NW 200	P+I pneumatisch	5100	6000	2200	13000
hoeveelheidsregeling	dp-cell transm. E	semilog 2-zits NW 200 + P/I omvormer	P+I elektrisch	10000	6500	3200	19500
	meetschijf NW 200 transm. P	semilog 2-zits NW 200	P+I pneumatisch	9200	6250	3000	18500
	meetschijf NW 500 transm. P	vlinderklep NW 500	P+I pneumatisch	7950	7000	3000	18000
	rotameter NW 100 transm. P	semilog NW 200	P+I pneumatisch	12000	4000	3000	19000
	EMF-meter NW 100 transm. P	semilog NW 200	P+I pneumatisch	15300	8000	4700	28000
pH-regeling	pH-meting transm. P	semilog NW 100	direct P+I+D pneumatisch	7500	7000	3000	17500
	pH-meting transm. P	semilog NW 100	indirect P+I+D via				
	rotameter transm. P	NW 100	P+I pneumatisch	13700	9500	4800	28000

Mededelingen

Literatuur

1. Cool, ir. J. C., Schijf, ir. F. J., en Viersma, dr. ir. T. J., *Regeltechniek*, uitgave 1969 AGON Elsevier, Amsterdam/Brussel.
2. Reinert, W., Dortmund; *Instrumentierung verfahrenstechnische Anlagen eine Kritische Betrachtung*; uit Regelungstechnische Praxis Heft 9, 1974, p. 222 t/m 229.
3. Weyermuller, Gordon H., *Pneumatische Regelsystemen haben Schlüsselstellung in den Verfahrenstechnik*. Uebersetzt von der Oktober 1973 Ausgabe von Chemical Processing von Scanivalve Inc., P.O. Box 2005, San Diego, Cal 92120 USA.
4. Shinsky, Greg., *Pneumatic Transmission — how far can you go?*; Instruments and Control Systems, june 1974, p. 83.
5. Grinten, dr. ir. P. N. E. M. van der; *Regeltechniek en automatisering in de procesindustrie*; Prisma Technica nr. 9 uitg. 1968.
6. Kleij, ir. C. C. van der, *Regelkleppen*, Lummus Nederland NV, 's-Gravenhage. De Ingenieur pag. 74, no. 30, 27 juli 1962 blz. Ch. 63 t/m 73.
7. Bruin, D. de, *De plaats van de instrumentatie in de organisatie van een project*; publicatie Leergang 'Het Instrument 1969' over het ontwerpen en bouwen van installaties voor automatisering in de procesindustrie.
8. Maris, ir. N. C., 's-Gravenhage, *The choice of control valve with respect to its static gain*; De Ingenieur jrg. 80 nr. 32, 9 aug. 1968; p. 103 t/m 108.
9. Cool, ir. J. C., TH Delft, *De optimale regelklep is bepaald door de toelaatbare versterkingsverandering*; De Ingenieur jrg. 82 nr. 51; 18 december 1970.
10. Samal, E., *Durchflussreglung, Wahl der zweckmässigsten Kenlinienform des Stellventils*; Regelungstechnische Praxis und Prozess-Rechen-technik, Heft 4, 1970, p. 132 t/m 141.
11. Russen Groen, ir. W. R. van; *Systeemanalyse*; publicatie Leergang 'Het Instrument 1969' zie nr. 7.

