

Regelende Technologen

December 1988

Ir. P.J. de Jong

 **TU Delft**

Technische Universiteit Delft

Faculteit der Scheikundige Technologie en der Materiaalkunde

TRES Red. 1988

Hijzheer de Rector Magnificus,
en overige leden van het College van Bestuur,
Collegas hoogleraren
en andere leden van
deze universiteit
Zeer geëerd

Regelende Technologen

Dames en Heren,

Het is mij een grote eer een overzichtsrede te mogen u spreken, met mijn
opvattingen zijn ten aanzien van de ontwikkeling van de nieuw in het land
geopend leerstoel Procesautomatisering in de Faculteit der Scheikundige
Technologie en der Materie aan de Technische Universiteit Delft.

rede

uitgesproken bij de aanvaarding
van het ambt van
hoogleraar in de

PROCESAUTOMATISERING

in de Faculteit der Scheikundige Technologie
en der Materiaalkunde
van de Technische Universiteit Delft
op vrijdag 9 december 1988

door

ir. P.J. de Jong



Jong_
red_
1988

Mijnheer de Rector Magnificus,
en overige leden van het College van Bestuur,
Collegae hoogleraren
en andere leden van
deze universitaire gemeenschap,
Zeer geëerde gasten,

Dames en Heren,

Het is mij een grote eer ten overstaan van U uiteen te zetten, wat mijn opvattingen zijn ten aanzien van de betekenis van de nieuw in het leven geroepen leerstoel Procesautomatisering in de Faculteit der Scheikundige Technologie en der Materiaalkunde van deze Technische Universiteit.

Alvorens ik tot een nadere beschouwing kom van het vakgebied Procesautomatisering en de rol van de procestechnoloog daarin, wil ik mijn dank uitspreken aan het College van Bestuur voor het vertrouwen dat zij uitsprak door mij te benoemen op deze nieuwe leerstoel.

Tegelijk dank ik allen die in voorbereidende commissies aan de motivering tot de oprichting van deze leerstoel en de totstandkoming van de voordracht hebben meegewerkt.

Bij en na mijn benoeming heb ik ervaren hoe belangrijk in het verband van deze nieuwe leerstoel de functie van de reeds lang bestaande vakgroepen op het gebied van de regeltechniek in andere faculteiten in Delft is. Ik beschouw de jonge regeltechnische activiteit dan ook als een regeltechnisch bruggehoofd in de vakgroep Chemische Technologie, afgestemd op de beheersing van processen, maar met open verbindingen naar de volwassen regeltechnische vakgroepen. De ervaringen met de collegae aldaar tijdens het eerste jaar van het opstartproces zijn dan ook zeer hoopvol en ik dank hen voor de getoonde bereidheid tot vruchtbare samenwerking.

Binnen de Faculteit en in het bijzonder binnen de vakgroep Chemische Technologie, heb ik een zeer opbouwende sfeer en samenwerking ontmoet, die zonder meer bemoedigend is voor de toekomst, ondanks de onverwachte en onevenredige druk van bezuinigingen die recent op het geheel van de Faculteit is afgekomen.

Het invoeren van een nieuw werkgebied in onderwijs en onderzoek vraagt heel veel van de direkt betrokken medewerkers van de wetenschappelijke en technische staf. Voor hun grote inzet en flexibiliteit in deze inslingerperiode ben ik hen zeer erkentelijk.

De Directie van DSM Research B.V. wil ik danken voor de enthousiaste houding waarmee zij de inpassing van deze deeltijdactiviteit in mijn functievervulling bij DSM mogelijk maakt. De medewerkers van de afdeling Wiskunde en Procesbesturing van DSM Research dank ik voor hun inschikkelijkheid ten aanzien van mijn taakverdeling over de verschillende, doch aangrenzende aandachtsgebieden.

Tot slot plaats ik naast deze rij van personen die in de ontwerp-, bouw- en opstartfase van deze leerstoelactiviteit een bijzondere rol hadden, mijn echtgenote en opgroeiende kinderen. Vanuit het gezin inspireerden zij mij bij het werk, waardoor ook deze taakverzwaring uitvoerbaar is gebleken.

Indeling

Om het vakgebied procesautomatisering te plaatsen wil ik de historie ervan in hoofdlijnen uiteenzetten.

Daarna zal ik een aantal onderwerpen bespreken, welke nu en in de toekomst zullen bijdragen tot de noodzakelijke kwaliteitsverbetering van de procesbeheersing.

Het zijn juist deze nieuwe automatiseringsvormen die meer dan ooit de procestechnoloog nodig hebben om tot succes te leiden.

Tot slot zal ik proberen aan te geven wat deze nieuwe ontwikkelingen, omgekeerd, voor eisen stellen aan de toekomstige procestechnoloog.

U langs deze route leidend zal betekenen dat de aanhalingstekens, die de titel van mijn rede nog omgeven, uiteindelijk weggelaten zullen kunnen worden.

Historie van de procesautomatisering

In de procesindustrie is er vanuit de jaren vijftig een gestage groei te zien in de toepassing van procesautomatisering. De ontwikkeling zoals die zich tot nu toe voltrok kan in een drietal fasen worden onderscheiden. Opvallend daarbij is dat de gang van de ontwikkeling anders verliep dan vooraf werd voorzien, hetgeen een waarschuwing inhoudt voor een te stellige verwachting van de toekomstige ontwikkeling.

1e fase: conventionele procesregelingen; 1950 - 1965

In een sterk groeiende procesindustrie kwam de automatisering duidelijk van de grond. De regeltechniek, hand in hand met de meettechniek, was reeds sterk gestimuleerd door de succesvol gebleken toepasbaarheid in besturings- en volgsystemen in de luchtvaart en militaire verdedigingssystemen.

We spreken over het tijdperk van de PID-regelaar, waarmee volgens het principe van de teruggekoppelde regelkring men in staat was

- a) sleutelvariabelen als druk, temperatuur en samenstellingen te controleren, d.w.z. gelijk aan setpointwaarden te maken
- b) de invloed van ongewenste storingen op de nagestreefde procesinstelling te onderdrukken.

In deze periode werd de PID-regelaar in achtereenvolgend pneumatische en elektronische uitvoeringsvorm toegepast.

Door de aard van deze uitvoeringstechniek was het moeilijk deze te doen uitgroeien tot een meer totale verzameling, verwerking en presentatie van procesinformatie.

De automatisering bestond uit het veelvuldig toepassen van de enkelvoudige regelkring, maximaal uitgebouwd tot cascade- en verhoudingsregelaar. Voorwaartsregeling kon slechts beperkt toegepast worden.

2e fase: computerregeling; 1965 - 1975/80

In de tweede helft van de jaren zestig deed de procescomputer zijn intrede in de procesautomatisering. De processen zelf maakten een schaalvergroting door en de productie van polymeren, veelal als batchproces uitgevoerd, kwam sterk op gang.

Met de komst van de digitale procescomputer waren er voorhands grote verwachtingen ten aanzien van een totaal andere, meer ingrijpende procesbeheersing. Toch heeft de tijd geleerd dat dit anders uitpakte. Een eerste aanleiding van toepassing was de effectiviteit waarmee de computer de functionaliteit van een groot aantal regelaars in een centrale processor kon uitvoeren: de zogenaamde DDC-taak (Direct Digital Control).

Naast deze inzet van de procescomputer bleek spoedig dat de gegevensverzamelende taak (data logging), de gegevensverwerkende taak (data handling) en de gegevenspresentatie (op papier en beeldscherm) voorzagen in een nieuwe behoefte.

Tegelijkertijd heeft deze verschuiving in aandacht van de benutbaarheid van de procescomputer het verder uitdiepen van de directe besturingstaak geremd. De in de jaren zestig als concept gelanceerde "supervisory control", waarbij de mogelijkheden van met de "rekenmachine" het proces "door te rekenen" en op basis daarvan optimale setpoints te bepalen en aan te sturen, bleef grotendeels een plan voor later. Hieraan droeg nog extra bij, de grote inspanning die in de procesindustrie zelf moest worden gestoken in de ontwikkeling van besturingssoftware.

Samengevat bracht deze tweede-fase-procesautomatisering, door benutting van de procescomputer, eerder de informatiebeheersing sterker op gang dan dat deze de graad van procesbesturing en procesoptimalisatie significant verhoogde.

3e fase: gedistribueerde regelsystemen; 1975/80 - heden

Dit was het antwoord op de vrij programmeerbare procescomputer en het daarbij ontbreken van een uitgekristalliseerd toepassings-concept. De beproefde voordelen van de digitale techniek werden nu op een weloverwogen wijze door instrumentatiefirma's herleid en geïntegreerd tot gedistribueerde regelsystemen (distributed computer control systems). Door vervanging van de centrale processor door een groot aantal microprocessors werd redundantie van vitale componenten en functies verkegen, resulterend in een hoge bedrijfszekerheid.

Gegevensopslag en -presentatie op beeldscherm van de op de operatorbehoefte afgestemde informatie bevordert de gewenste "human interface". Opvallend is dat deze instrumentatie/regelsystemen de functionaliteit van de al oude PID-regelaar als basis houden, aansluitend bij de vertrouwde werkwijze van het bedienend personeel. In het begin van de 3e fase waren deze systemen zelfs uitsluitend via A/D en D/A convertors op analoog signaalniveau aan te sturen en uit te lezen. Inmiddels zijn interfacevoorzieningen naar andere computersystemen standaard geworden.

Thans is er een overweldigend marktaanbod. De inrichting van het systeem op haar specifieke taak gebeurt middels configureren i.p.v. programmeren, waardoor de toegankelijkheid - weliswaar beperkter - toch effectiever en gemakkelijker is geworden.

Naast de PID-functies zijn een aantal rekenfuncties voorhanden waarmee koppeling of bewuste ontkoppeling van regelkringen mogelijk is. Feedforward control en multivariabele regelconcepten zijn hiermee te realiseren. Tenslotte staan deze systemen open voor koppeling met krachtige minicomputersystemen, waardoor toepassing van het "supervisory control concept" veel dichterbij is gekomen.

In relatie tot de uitvoeringsvorm van het proces: continu of batch, is nog aan te vullen dat het belang van batchprocessen de laatste tien jaar sterk is toegenomen. Hiermee samenhangend liep de functionaliteit van de gedistribueerde regelsystemen t.a.v. batchprocessen achter op die voor continue processen. Pas recent is er sprake van een enigszins complete afstemming van gedistribueerde regelsystemen op de sturing en bewaking van batchprocessen.

Tot zover de interpretatie en evaluatie van de technische ontwikkelingen van de procesautomatisering, zoals die in de procesindustrie wordt ervaren en waaraan hard is gewerkt.

Doelstellingen van procesautomatisering

In de voorafgaande historische schets werd meer gelet op de uitvoeringsvormen van procesautomatisering met de daaraan gerelateerde functionaliteit, dan dat de doelstellingen van de automatisering vast stonden. In de loop van de jaren zijn deze doelstellingen ook geleidelijk aan verschoven.

Thans kunnen we de doelstellingen op hoofdpunten samenvatten als het streven naar:

t.a.v. continue processen: stabiele procescondities ten behoeve van gestelde eisen aan productspecificaties.

t.a.v. batchprocessen: goede instelbaarheid en reproduceerbaarheid van een optimale batchsturing.

t.b.v. milieu en veiligheid: goed gedefinieerd opereren, met in acht name van duidelijk gestelde grenzen.

op basis van opgedane ervaringen en/of off-line procesoptimalisatie bereiken van economisch optimale productie.

heldere presentatie en rapportage om bovenstaande doelen doorzichtig te maken voor bediening en management.

Toekomstige ontwikkelingen

Wat mag verwacht worden van de toekomstige ontwikkeling van procesautomatisering? Zijn er nieuwe aandachtspunten? Wat vraagt daarin de procesindustrie in het bijzonder?

- In West Europa zal meer en meer de aandacht komen te liggen op kennisintensieve producten, goed afgestemd op een markt met een scala van specifieke eisen en minder op grote bulkhoeveelheden. Hierop zal snel en met een flexibele procesautomatisering moeten worden ingespeeld. Nog meer dan thans het geval is zullen batchprocessen daarbij een belangrijke rol spelen.
- Daarnaast zullen een aantal bulkprocessen met zo hoog mogelijk opgevoerde efficiency bedreven moeten worden. Hiervoor zal het noodzakelijk zijn optimalisatie en flexibiliteit on-line aan het proces te realiseren.
- Veiligheid en milieu zullen in de toekomst grote garanties blijven vragen ten aanzien van een goed gedefinieerde en beheerste procesvoering. Ook hiervoor zal zo veel mogelijk proceskennis on-line aan het proces aangewend moeten worden.
- Gegeven de ontwikkelingen tot nu toe en de prikkels om de graad van de automatisering voor de toekomst nog een orde te verhogen is het van het grootste belang de operator optimaal op zijn taak afgestemd te houden. Dat zal inhouden dat enerzijds de automatisering doorzichtig blijft voor de operator, anderzijds dat de operator door opleiding en bijscholing voldoende vertrouwd is en blijft met het procesgedrag en de daarop afgestemde automatisering. Nu al is gebleken dat processimulatie hierbij een effectief trainingsmiddel is.

Actuele aandachtsgebieden

Bij het naar voren halen van een vijftal actuele aandachtsgebieden wil ik bereiken dat de aard van deze inspanningen u wat meer concreet wordt geschetst en dat daarmee de relatie van procesregeling met procestechnologie wordt geïllustreerd.

De keuze van dit vijftal betekent niet dat er nog niet vele andere aspecten te noemen zouden zijn die voor de toekomst van de procesautomatisering een belangrijke betekenis zullen hebben. Deze keuze betreft in het bijzonder potentiële methoden en technieken waarvan vooral de toepassingsaspecten in een procestechnologische context belicht zullen worden.

De hiervoor gekozen aandachtsgebieden zijn:

1. geavanceerde procesregeling
2. on-line modellen t.b.v. procesoptimalisatie
3. on-line vereffenen en identificatie
4. expertsystemen bij de procesbeheersing
5. dynamische simulatie t.b.v. training

1. Geavanceerde procesregeling

Het begrip geavanceerde procesregeling (advanced control) kan snel worden misverstaan wegens verschillen in opvatting over wat geavanceerd genoemd moet of mag worden.

Voor het goede begrip is het van belang deze vorm van procesregeling vooral vanuit de applicatiekant met de daar aanwezige of binnenkomende moderne regelsystemen te plaatsen. Aldus betekent het een beter en meer inhoudelijk uitgewerkt regelconcept, dat gebruik maakt van proceskennis en gerealiseerd wordt met op de markt zijnde regelsystemen.

In de fase van conventionele procesregeling was men zeer beperkt in het inhoud geven aan voorwaartsregeling, ontkoppeling van regelkringen of het regelen van sleutelvariabelen. Met de huidige en toekomstige instrumentatiemiddelen is dit veel meer mogelijk.

Wel vereist het goed benutten van deze mogelijkheden gebruik maken van procestechnologisch inzicht en in sommige gevallen uitvoerig voorwerk, zoals in een voorbeeld zal worden aangegeven.

Ingrediënten voor de benutting van deze geavanceerde regel mogelijkheden zijn naast proceskennis: achtergrondkennis van procesdynamica en regeltheorie, ook als deze niet in zijn originele vorm of uitkomst wordt toegepast.

Dit laatste komt bijvoorbeeld voor bij het naar de praktijk toe vertalen van multivariabele regeltheorie: begrip van interactie en ont koppeling in relatie tot frequentie-afhankelijke proceseigenschappen is hier onmisbaar.

Als voorbeeld wil ik de vorderingen noemen die bereikt zijn bij de besturing, ontwerp en implementatie van de regeling van destillatiekolommen en waarbij een sterke combinatie van bovengenoemde ingrediënten aan de orde is.

Wanneer we het dynamisch gedrag van een destillatiekolom beschouwen, blijkt dat we te maken hebben met de volgende eigenschappen: statische interactie, dynamische interactie, zeer complexe procesdynamica, sterk niet lineair gedrag en beperkte meetbaarheid.

Wanneer het om scheiding gaat van een voeding die zeer veel componenten

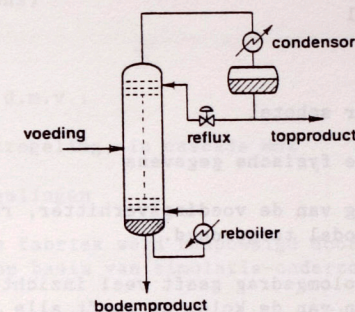


fig. 1

bevat, zoals bij crude-destillatie in de voortrein van een raffinaderij het geval is, is gedetailleerde kolombeschrijving op basis van fysische wetten en relaties niet mogelijk. In dit geval dient het kolomgedrag met globale z.g.n. black-boxmodellen te worden benaderd. Op basis hiervan wordt een passend regelconcept ontworpen.

Wanneer het om minder dan tien voedingscomponenten gaat, meestal nog terug te brengen tot een kleiner aantal sleutelcomponenten, is beschrijving van het dynamisch kolomgedrag uitgaande van z.g.n. "first principles" goed mogelijk.

Resultaat van een dergelijke studie is het op maat ontwerpen van een goed regelconcept, waarvan de tuning van regelaarinstellingen zelfs al met het simulatiemodel van de kolom kan worden gedaan.

Voorbeeld

In dit voorbeeld gaat het om de scheiding van C_2 - en C_3 -fracties in een destillatiekolom van een nafta-kraker met circa 60 schotels.

De specificatie-eisen aan deze kolom gesteld betreffen zowel hoge zuiverheid van het topproduct (ppm'en en C_3H_6) als hoge zuiverheid van het bodemproduct (ppm'en C_2H_6).

Beschrijving van het dynamisch gedrag van de kolom bleek mogelijk op basis van

- massabalans per component, per schotel
- energiebalans per schotel
- dampvloei-evenwichten
- hydraulische relaties per schotel
- dimensionering en overige fysische gegevens

Tevens werd de beschrijving van de voedingsverhitter, reboilersysteem en condensersysteem aan het model toegevoegd.

Alleen al het stationair kolomgedrag geeft veel inzicht in het maximaal te bereiken scheidend vermogen van de kolom en geeft alle informatie om de optimale kolominstellingen te vinden.

Verificatie van het stationaire kolominzicht aan bedrijfsmeting dient ter controle voor gedane aannamen als schotelrendement of kolomrendement en juiste keuze van regelplaat (temperatuurmeetpunt). Aldus vindt er een orde nauwkeuriger analyse plaats van de kolomwerking dan mogelijk is bij ontwerp van de kolom. Een dergelijke analyse, nog zonder dynamische aspecten, is een onmisbare fase in de totstandkoming van een goed regelconcept.

Door per schotel de component- en energiebalans met dynamische hold-up termen uit te breiden, kan op een betrouwbare manier het niet-stationaire kolomgedrag beschreven worden. De uitwerking hiervan levert weliswaar een stevig stelsel algebraïsche en differentiaal vergelijkingen, maar is met de huidige computermiddelen (mainframe en minicomputer) goed tot oplossing te brengen.

Simulaties met dit kolommodel geven inzicht in het complexe dynamische gedrag op een manier die door beperkingen in de praktijk niet door bedrijfsproeven te evenaren zijn.

Het ontwerp van een adequaat regelconcept is voor de industriële praktijk het midden vinden tussen het nastreven van een multivariabele regeling van dit multivariabele proces enerzijds, en een robuust, uitlegbaar stelsel sturingen die binnen de mogelijkheden van een bestaand computer regelsysteem valt, anderzijds.

In dit concrete voorbeeld leidde dit tot een regelconcept, te typeren door:

feedforward control op basis van:

- reflux/voedings verhoudingsregeling
- warmtebalansregeling (in-line berekeningen/op basis van meetgegevens)

aangevuld met

feedback control d.m.v.:

- regelplaatregeling, in cascade met
- analyseregelingen

De implementatie in de fabriek werd bespoedigd door het direct inzetten van regelaarinstellingen op basis van simulatie-onderzoek gevonden.

De betekenis van een dergelijke werkwijze kan geïllustreerd worden door het effect van de regeling te tonen.

Hierbij blijkt dat het dubbele kwaliteitregelprobleem niet een kwestie is van zo zuiver mogelijk scheiden, maar van "juist voldoende" scheiden. Wegens het sterk niet-lineaire gedrag, vraagt te zuiver produceren onevenredig meer energie. Een goede regeling zal dan ook het energieverbruik verlagen. Verder belast te zuiver scheiden de kolom onnodig zwaar. Scherp regelen op specificaties levert daardoor extra doorzetcapaciteit, een factor van grote betekenis.

fig. 2 illustreert de realisatie van reflux-voedingsverhoudingregeling, vergeleken met dezelfde verhouding zonder expliciete regeling ervan.

fig. 3 illustreert de verontreiniging van het bodemproduct met conventionele regeling, terwijl met geavanceerde regeling de zuiverheid een constant niveau laat zien significant verschillend van 100% zuiverheid.

fig. 4 laat de overeenkomstige vergelijking van de onzuiverheid van het topproduct zien.

Een dergelijke regeling ontlast de aandacht van de operator voor dit continue beheersprobleem en draagt bovendien bij tot een significante kostenbesparing en capaciteitsverruiming.

Reflux-voedingsverhouding

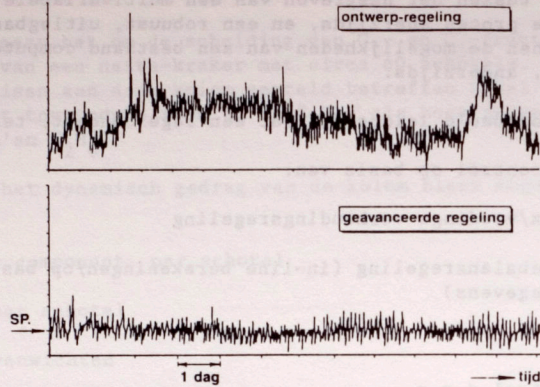


fig. 2

Onzuiverheid van bodemprodukt

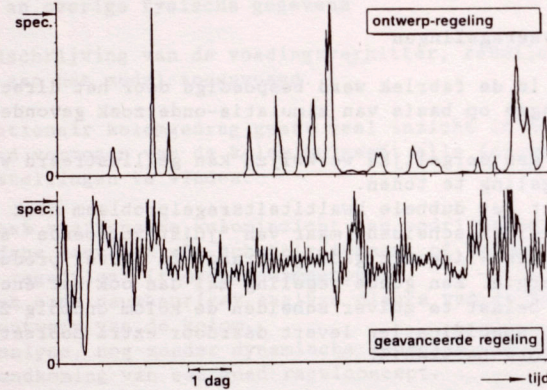


fig. 3

Onzuiverheid van topproduct

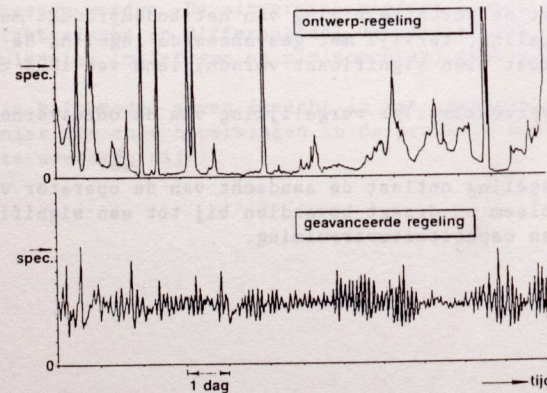


fig. 4

2. On-line modellen t.b.v. procesoptimalisatie

Zoals al bij de behandeling van het regelontwerp van de destillatiekolom bleek, liggen procesbeheersing en optimale procesinstelling heel dicht bij elkaar.

Ondanks dit feit moet erkend worden dat complete fabrieksoptimalisatie door de omvang van de hiervoor noodzakelijke inspanning niet snel tot een standaard onderdeel van de procesautomatisering is geworden.

Wanneer we een dergelijke integrale procesoptimalisatie analyseren kunnen we de volgende deelaspecten onderscheiden:

1. stabiliserende regelkringen t.b.v. primaire procesvoering.
2. operationeel stationair procesmodel inclusief gekwantificeerde begrenzingsen.
3. actuele kosten/prijzenset, eventueel meerdere scenario's.
4. optimalisatie-berekening, gebruik makend van 2 en 3.
5. realiseren van optimale instellingen (via advies of in-line).
6. model up to date houden door confrontatie met alle procesmetingen (vereffenen, parameterschatten).

De moeilijkheidsgraad van een dergelijke aanpak wordt o.a. gevormd door de factoren:

- beschikbaarheid van voldoende nauwkeurige proceskennis
- robuuste programmatuur (oplossen + optimaliseren).
- effectieve, betaalbare computersystemen.
- model updating.

Voor wat de benodigde proceskennis betreft, kan niet volstaan worden met de kennis verzameld t.b.v. het procesontwerp, maar dient uit fabrieksstaf en bedrijfsmetingen een nauwkeuriger beschrijving gevonden te worden.

De benodigde computerprogrammatuur heeft grote verwantschap met die welke bij flowsheeting gebruikt wordt, met dien verstande dat deze geschikt moet zijn voor inbrengen van niet-standaard procesrelaties. Bovendien dient optimaliseren onder randvoorwaarden hiermee mogelijk te zijn. Deze eisen zorgen ervoor dat eigenlijk alleen de kleine klasse van zgn. "equation oriented flowsheeters" hiervoor in aanmerking komt, zoals de pakketten SPEED UP en TISFLO.

Door voortgaande ontwikkelingen op het gebied van computerhardware is het pas recent mogelijk geworden dergelijke procesmodellen buiten het z.g.n. mainframe te brengen; een voorwaarde om tot on-line fabriekstoepassing te komen. Thans biedt de minicomputer en binnenkort de snelle PC hier de mogelijkheden voor.

Over de problematiek van model updating wordt bij bespreking van het volgende aandachtsgebied ingegaan.

Ter illustratie wordt de omvang gegeven van een applicatie. Het betreft een ammoniakfabriek, gesimuleerd in TISFLO, een door DSM ontwikkeld flowsheet pakket. De ontwikkeling van het model gebeurde op een IBM 3090 mainframe, maar dit relatief grote model is thans ook operationeel op een microVAX-2. Het model wordt in de fabrieksstaf op een off-line wijze benut.

Dimensies van procesmodel NH₃-fabriek (TISFLO)

aantal componenten	15
„ apparaten	100
„ reactoren	6
„ warmtewisselaars	50
„ compressietrappen	8
„ turbines	4
„ overige apparaten	32
„ stromen (massa + energie)	398
„ niet-lineaire modellen	171
„ vergelijkingen	2400

Al gaat het in dit voorbeeld om een stationair procesmodel van een continue proces, op analoge wijze kunnen met dezelfde programmatuur ook niet stationaire procesmodellen worden opgesteld. In het bijzonder is dit nodig wanneer het om batchprocessen gaat. Ging het bij continue processen om het vinden en instellen van optimale setpoints, bij batchprocessen zullen de modellen onderdeel kunnen worden van een optimale dynamische sturing. Hier ligt nog een te ontginnen terrein.

3. On-line vereffenen en identificeren

Wanneer nu de regeling en optimalisatie van processen gebaat is met benutten van on-line proceskennis, moet tegelijk ingezien worden dat niet alleen op a priori kennis mag worden vertrouwd. Redenen daarvoor zijn het ontbreken van voldoende kwantitatieve voorkennis en het niet voorspelbaar wijzigen van procesparameters. In dat geval is het zaak de ontbrekende of veranderende parameters aan de hand van meetgegevens uit het proces te bepalen. Bij deze bepaling dient echter rekening te worden gehouden met de inherente onnauwkeurigheid van de meetgegevens.

In dit verband wil ik onderscheid maken tussen drie gevallen, namelijk:

1. vereffenen = confrontatie van metingen met stationair procesmodel leidend tot consistente meetwaarden.
2. parameterschatten = confrontatie van metingen met stationair procesmodel leidend tot parameterwaarden in het model.
3. toestandschatting = confrontatie van metingen met dynamisch procesmodel leidend tot potentiële regelvariabelen.

De gevallen 1 en 2 komen direkt om de hoek kijken wanneer er stationaire procesmodellen t.b.v. procesoptimalisatie worden ingezet. Geval 1 doet zich direkt al voor wanneer modeldelen rechtstreeks uit procesmetingen moeten worden afgeleid, of met meetgegevens moeten worden geverifieerd. Een simpel voorbeeld geeft de kern van de problematiek aan.

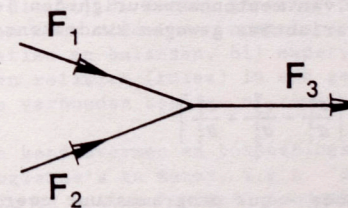


fig. 5

Wanneer we met een knooppunt van stromen te maken hebben volgens fig. 5 dan wordt verwacht dat de massabalans geldt $F_1 + F_2 = F_3$. Wanneer we ons in de situatie bevinden dat alle drie massastromen gemeten worden, zouden we kunnen aflezen:

$$F_1 = 372 \text{ kg/h}$$

$$F_2 = 245 \text{ kg/h}$$

$$F_3 = 599 \text{ kg/h}$$

Het niet kloppen van de massabalans voor deze meetwaarden ondergraaft de duidelijkheid die juist door de drie metingen groter zou moeten zijn dan wanneer bijv. F_3 niet gemeten was. In dat geval zou F_3 immers 617 kg/h "zijn".

Wanneer we ons echter realiseren dat alle meetwaarden met een fout behebt zijn, zal de massabalans uiteraard gelden voor de "echte" massastromen \hat{F}_i en geldt:

$$\hat{F}_1 + \hat{F}_2 = \hat{F}_3$$

$$\hat{F}_1 = F_1 + \epsilon_1 \quad \sigma_i = \text{tolerantie}$$

$$\hat{F}_2 = F_2 + \epsilon_2 \quad \sigma_i^2 = \text{variantie}$$

$$\hat{F}_3 = F_3 + \epsilon_3$$

Het toekennen van een correctiewaarde ϵ_i hangt direct samen met de tolerantie σ_i of onnauwkeurigheidsklasse, die bij meting F_i behoort. Zouden we ons in het uitzonderlijke geval bevinden dat de metingen F_1 en F_2 extreem nauwkeurig t.o.v. de meting van F_3 zijn, dan zal F_3 ook 617 kg/h zijn of daar heel weinig van verschillen.

Samenhangend met de kansverdelingsfunctie van de meetfout kan er een criterium afgeleid worden, waarmee de meest waarschijnlijke waarden worden gevonden. Voor een grote klasse van meetonnauwkeurigheden leidt dit tot het minimaliseren van de met de varianties gewogen kwadratensom van de aan te brengen correcties

$$\min. \left\{ \frac{\epsilon_1^2}{\sigma_1^2} + \frac{\epsilon_2^2}{\sigma_2^2} + \frac{\epsilon_3^2}{\sigma_3^2} \right\} \quad \hat{F}_1 + \hat{F}_2 = \hat{F}_3$$

Deze vereffeningmethode - qua programmatuur zeer verwant aan flow-sheeting - wordt al jaren off-line toegepaste bij het consistent maken van grote meetseries ($n > 100$) betrekking hebbend op massa- en energiebalansen t.b.v. verrekening tussen bedrijven.

Bij on-line gebruik van procesmodellen zal toepassing van deze techniek nodig zijn en mogelijkheid bieden voor on-line detectie van optredende meetfouten. De excentriciteit ϵ_i/σ_i is hier een maat voor.

Een gemodificeerde toepassing van deze vereffeningstechniek maakt het mogelijk tijdsafhankelijke parameters in een quasi-stationair procesmodel te bepalen. We denken hierbij aan langzaam veranderende warmteoverdrachtscoëfficiënten, katalysatoractiviteit of dikte van een filterkoek.

Ook bij deze vorm van parameterschatting wordt recht gedaan aan de veronderstelde onnauwkeurigheid van de meetgegevens waarop de schatting wordt gebaseerd.

Wanneer het om snellere dynamica gaat en tegelijk om onnauwkeurige of onvolledige meetinformatie hebben we te maken met een schattingsprobleem waarin een verondersteld dynamisch model een belangrijke rol speelt. Deze werkwijze richt zich meestal niet op complete procesmodellen, maar vormt een hulpmiddel om moeilijk meetbare procesvariabelen te schatten als onderdeel van een daarmee verbonden regelprobleem. Het Kalman-filter heeft op dit gebied de grootste bekendheid gekregen en heeft zijn entree gemaakt in sommige specifieke industriële toepassingen.

4. Expertsystemen bij de procesbeheersing

Over expertsystemen wordt veel gesproken met de verwachting dat zij veel potentieel te bieden hebben op gebieden waar "rekenend" computergebruik het af laat weten of te kort schiet. Ook in relatie tot de beheersing van chemische processen tekenen zich interessante toepassingen af.

Een expertsysteem pretendeert in deze procestecnologische omgeving kennis, opgeslagen in ervaren ontwerpers, troubleshooters en operators te kunnen vastleggen, vasthouden en toepassen. Hierbij onderscheidt zich de aard van de kennis zoals die zich bij een expertsysteem voordoet van die bij de eerder genoemde procesmodellen. Gaat het in procesmodellen om een door middel van numerieke wiskunde opgeloste berekeningen van procesrelaties en balansen, bij expertsystemen liggen kennisfeiten en in te voeren relaties (rules) in een gegevenbestand (data base), en leidt een daarmee verbonden beslis- of redeneermechanisme tot antwoorden.

Voor een aantal klassen van kennisvormen en toepassingsgebieden is het mogelijk gebleken skeletprogramma's te maken, z.g.n. "expert system shells", waarin een lege database, in te vullen "rules", noodzakelijke datatransport, programma-invoer en -uitvoer voor de potentiële gebruiker klaar staan.

Daarnaast zijn er nog vele ontwikkelingen gaande vanuit de informatica die zullen leiden tot nieuwe shells of ontwikkelmiddelen, gebruik makend van speciaal hiervoor ontworpen hogere talen, als LISP en PROLOG.

Wanneer we ons gemakshalve verplaatsen in de situatie een goede uitgangsshell voor handen te hebben voor een technologische of regeltechnische toepassing, stuiten we op het probleem van het vinden en vastleggen van de relevante kennis.

Voorals het om kennis gaat die in personen "opgeslagen" ligt, is er nog een groot karwei deze kennis op tafel te krijgen en te ontdoen van strijdigheden of lacunes. Dit proces, ook wel "knowledge engineering" genoemd is een zeer belangrijke schakel in de werkroute om tot een concrete E.S.-toepassing te komen. Inzichten en methoden vanuit de psychologie zijn hier uiterst nuttig gebleken en hebben reeds geleid tot voor dit doel ontwikkelde interviewtechnieken.

Richten we ons tot het gebied van de procesbeheersing, dan tekenen zich daarbinnen diverse soorten van toepassingen af. Deze zijn puntsgewijs als volgt in te delen:

- A. off-line: hulpmiddel bij ontwerpkeuze van
- instrumentatiesysteem
 - metingtype
 - regelschema
 - regelaarinstelling
 - etc.
- B. in-line/on-line - intelligente regelaar (zelf instellend)
- clustering van alarmen
 - storingsdiagnose + remedie
 - advisering van operator op basis van ervaren operator gedrag

Overigens zij opgemerkt dat een on-line toegepast expertsysteem bijzondere eisen stelt aan de frequente gegevensinvoer en snelheid van de computerhardware. We hebben hier te maken met de z.g.n. real-time expertsystemen.

Liggen de meeste genoemde off-line toepassingen op meer specifiek instrumentatie en regeltechnisch gebied, de in- en on-line voorbeelden hebben alles te maken met de samenhang van de procesbediening en de in het procesontwerp bedoelde procesvoering en zullen zeker niet om de procestechnoloog heen gaan.

Aldus bieden dergelijke expertsystemen een interessant perspectief voor de kwaliteitsverbetering van de procesbeheersing. Er zal echter nog een lange weg gegaan moeten worden voor we hier van diverse succesvolle realisaties zullen kunnen spreken.

5. Dynamische simulatie t.b.v. training

Processen, geïntegreerd tot fabrieken, dienen allereerst verstandig ontworpen te zijn vanuit kennis van het stationaire procesgedrag in relatie tot een juiste apparaatkeuze en dimensionering.

Ten behoeve van een goede beheersbaarheid, ook tijdens niet-stationaire procesgang, is het noodzakelijk dat de procesontwikkelaar, -ontwerper en bedrijfsstaf kennis hebben van de proces- en regeldynamica.

Het is zelfs noodzakelijk dat bij het ontwerp van het proces het dynamisch procesgedrag door juiste dimensionering en inrichting inherent stabiel is en ongevoelig voor mogelijke storingsinvloeden.

Dit zal in het algemeen inhouden dat hierdoor volstaan kan worden met minder complexe regelingen; overall, een na te streven situatie!

Vervolgens dient bij de procesvoering door staf en bedienend personeel zoveel inzicht in de procesdynamica aanwezig te zijn dat starten en stoppen en het hoofd bieden aan ongewone situaties verstandig kan gebeuren. Door de toegenomen graad van automatisering, grotere complexiteit van nieuwe processen en steeds langer wordende bedrijfstijden bij continue processen (soms enige jaren) is in de fabriek zelf onvoldoende ervaring op te doen of zelfs te onderhouden.

Anderzijds is het zover automatiseren dat bedienend personeel overbodig wordt een utopie.

Er ontstaat een kritisch tussengebied waarin juist op ongewone momenten veel van de feeling van de operator wordt gevraagd.

De processimulator biedt hier uitkomst als medium waarin zonder risico van schade, produktie-uitval en gevaar een realistisch procesgedrag wordt aangeboden.

Wel schuilt hier het fenomeen van een z.g.n. "inverse responsie" in die zin, dat voordat een voor zijn doel ingerichte en geprogrammeerde processimulator gerealiseerd is, er een grondige analyse moet plaatsvinden naar de belangrijkste structuur van de procesdynamica en het daarop afgestemde trainingsdoel. In deze ontwerpfasen dient ook de betrokken procestechnoloog zijn inbreng te leveren vanuit zijn proceskennis en ervaring.

De processimulator vormt het hart van een daaruit ontwikkelde trainingssimulator, waarin een centrale database, regelfuncties, operatorinterface en een instructor-interface zijn neergelegd.

Het simulatie-gedeelte bevat over het algemeen procesmodellen op basis van z.g.n. rigoreuze modelvorming verkregen, zoals ook bij het besproken model van de dynamische destillatiekolom aan de orde was.

Een dergelijke aanpak garandeert een zo groot mogelijke betrouwbaarheid, hetgeen de realiteitswaarde van de training ten goede komt.

De benodigde regelfuncties kunnen zowel naast de processimulatie binnen dezelfde digitale computer mee gesimuleerd worden, doch ook in echte regelsystemen aanwezig zijn, voor dit doel via een interface gekoppeld aan de simulatiecomputer.

Wanneer de regelfuncties in de simulator worden nagebootst, dient de presentatie op beeldscherm naar de operator toe, evenals de bediening door de operator zeer overeenkomstig te zijn met die van industriële regelsystemen.

Voor de instructie of trainingstaak is het van groot belang dat het proces en regelgedrag zich op een realistische tijdschaal afspelen, over het algemeen op ware tijdschaal (real-time), soms een factor vertraagd of versneld. Ook het momentaan stoppen of doorstarten is een gewenste instructiemogelijkheid.

Dit simulatiemiddel kent verschillende toepassingsvormen, zoals:

- a. bedieningstraining, met het accent op instrumentatiebediening, slechts met globale kwalitatieve processimulatie.
- b. procestraining, met het accent op het ware procesgedrag, met rigoreuze dynamische procesmodellen.
- c. automatiseringstraining, processimulatie in relatie tot ver uitgewerkte regelsimulatie of regelsystemen.
- d. test van regelsystemen, uitsluitend processimulatie ter beproeving van regelconcept of regelaarinstellingen.

a, b en c kunnen buiten de fabriek plaatsvinden, maar dienen toch altijd op de behoeften van de fabrieksstaf afgestemd te zijn.
d is daarentegen gekoppeld aan het fysieke regelsysteem van de fabriek.

Er is echter een trend om ook de toepassing a t/m c in de fabriek te laten plaatsvinden, om daarbij letterlijk de afstand van trainingsmiddel naar fabrieksoperatie zo kort mogelijk te maken.

Dit zal ook voor de technoloog in de fabrieksstaf het bewustzijn voor de dynamische aspecten van het proces met zijn beheersing alleen maar doen toenemen.

Slotwoord

Na U meegenomen te hebben langs een aantal actuele aandachtspunten van het brede gebied van de procesbesturing zal het U, voorzover het U vooraf al niet duidelijk was, duidelijk geworden zijn dat de procestechnologie in de industriële praktijk omgeven wordt door procesbesturingsactiviteiten.

Procesbesturing is daarbij resumerend te kenschetsen als de realisatie van de beheersing van een proces, gericht op de garantie van eisen van veiligheid, milieu, capaciteit, kwaliteit en de bedrijfseconomie. Bij de realisatie van deze doelstelling zijn de instrumentele en softwarematige aspecten een harde kern hiervan, ook wel als regeltechniek in engere zin te betitelen.

Zoals uit de besproken actuele aandachtsgebieden blijkt, is de invulling ervan een niet te isoleren taak, maar dient verbonden te zijn met procestechnologische kennis en oriëntatie.

Dit besef is in deze richting al ver doorgebroken. Omgekeerd dient de procestechnoloog, meer dan voorheen, voorbereid te zijn op een scala van procesbesturingsaspecten.

Wat dit betreft is de angelsaksische situatie waar Chemical Engineering vanzelfsprekend de discipline Process Control omvat een voorbeeld, dat nu ook in de Delftse situatie een kans krijgt.

De leerstoel procesautomatisering brengt daarvoor het regeltechnische in. Het is echter belangrijk dat in de Vakgroep Chemische Technologie er een omgeving is met vele vruchtbare aansluitingen hierop.

Met name doel ik hier op de belangrijke activiteit procesontwerp, gebruikmakend van computerhulpmiddelen als flowsheeting en expertsystemen. Hierin wordt de student geconfronteerd met de synthese van vele fysische chemische kennisaspecten tot een samenhangend proces, inclusief de optimale beheersing ervan.

Aldus wordt er een brug geslagen tussen een studie vol vele specifieke kenniselementen en een industriële praktijk waarin het uiteindelijk om de optimale operatie van het geheel gaat.

In de industrie zie ik veel technologen erg druk bezig zijn met het "regelen" van veel zaken.

Met de invulling van deze leerstoel hoop ik dat in de toekomst aan dat "regelen" de regeldimensie wordt toegevoegd en we terecht kunnen spreken van regelende technologen.

Ik dank U voor Uw aandacht.