

## Uit de keuken van de regeltechniek

Rademaker, O.

Gepubliceerd: 01/01/1960

### *Document Version*

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

### **Please check the document version of this publication:**

- A submitted manuscript is the author's version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

### *Citation for published version (APA):*

Rademaker, O. (1960). *Uit de keuken van de regeltechniek*. Delft: Waltman.

### **General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

### **Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

# UIT DE KEUKEN VAN DE REGELTECHNIEK

REDE

UITGESPROKEN BIJ DE AANVAARDING  
VAN HET AMBT VAN GEWOON HOOG-  
LERAAR IN HET METEN EN REGELEN  
AAN DE TECHNISCHE HOGESCHOOL  
TE EINDHOVEN

OP VRIJDAG 29 JANUARI 1960

DOOR

Ir O. RADEMAKER



# UIT DE KEUKEN VAN DE REGELTECHNIEK

REDE

UITGESPROKEN BIJ DE AANVAARDING  
VAN HET AMBT VAN GEWOON HOOG-  
LERAAR IN HET METEN EN REGELEN  
AAN DE TECHNISCHE HOGESCHOOL  
TE EINDHOVEN

OP VRIJDAG 29 JANUARI 1960

DOOR

Ir O. RADEMAKER



*Mijne Heren Curatoren,  
Mijne Heren Hoogleraren en Adviseurs,  
Dames en Heren van de Wetenschappelijke, de  
Technische en de Administratieve Staf,  
Dames en Heren Studenten,  
en voorts Gij allen, die door Uw aanwezigheid  
blijk geeft van Uw belangstelling,*

*Zeer gewaardeerde toehoorders,*

Is het U wel eens overkomen dat U in een restaurant zat, een ellenlange spijkskaart in de hand, en dat U, juist door de veelheid van kostelijke mogelijkheden, nauwelijks tot een keuze kon komen? Zo heb ook ik, gezeten aan mijn stamtafel in het restaurant dat men afwisselend aanduidt met de namen: „meten en regelen”, „instrumentatie”, „automatisering” en zelfs „cybernetica” oftewel „stuurkunde”, zitten wikken, wegen en weifelen over hetgeen ik U vandaag zou voorzetten. Zou ik over het meten, of over het regelen, over theorie of experiment, over research of toepassing, of misschien over de relatie tot onderwijs, economie, of mens en maatschappij spreken? En aan welk gebied zou ik mijn voorbeelden ontleen? Fascinerende prestaties van het meten en regelen zijn overal te vinden!

Zoals in een restaurant het probleem vaak opgelost wordt door het kiezen van een plat du jour die de draagkracht niet te boven gaat, zo heb ik voor vandaag mijn keuze laten vallen op de dagelijkse kost van het automatisch regelen in de industrie. En, daar elke plat du jour die zijn zout waard is bestaat uit drie gangen, wil ik U bij wijze van voorgerecht iets vertellen over de geschiedenis van het automatisch regelen, om dan na enkele notities bij de huidige stand van zaken, bij wijze van toetje te trachten vooruit te kijken door de matglazen ruit die ons van de toekomst scheidt. Het spreekt vanzelf, dat ik U daarbij slechts een enkele spijs uit de keuken van de regeltechniek kan opdienen. Bij voorbaat moet ik me excuseren voor het feit dat de drie gangen nauwelijks in smaak zullen verschillen en vrij veel ingrediënten uit de chemische en aardolie-industrie zullen bevatten.

Het menu van vandaag bevat vele vreemde woorden, waarvan ik nu de belangrijkste nader zal omschrijven. Daarbij doet U er goed aan te bedenken, dat de betekenis van zulke woorden nogal afhangt van de opvattingen van de kok, en dat de volgende definities alleen bestemd zijn voor onmiddellijke consumptie, omdat ze op den duur niet zo goed houdbaar zijn.

In het contact dat de mens met zijn omgeving heeft, kunnen we twee elementen onderscheiden: het passieve element van de waarneming en het actieve van de handeling. Deze elementen zijn bijna onafscheidelijk, want ze treden tezamen op in alle waarnemingen die actie van het lichaam, en alle handelingen die controle door de zintuigen vereisen. Met behulp van deze elementen kunnen we de relatie van de mens tot zijn omgeving beschrijven als een kringloop, een gesloten keten van oorzaak en gevolg: de mens doet iets, zijn omgeving reageert daarop, de mens neemt deze reactie waar, weegt het waargenomene af tegen het beoogde doel, neemt een besluit en verricht een volgende handeling. Mens, handeling, omgeving en waarneming vormen de vier schakels van de gesloten keten. We zullen dadelijk zien, dat een regelsysteem op een soortgelijke wijze beschreven kan worden.

We spreken over *meten* (ook wel: controleren, tellen) als de waarneming door het aanleggen van een norm, een kwantitatief karakter gekregen heeft. De eenvoudigste vorm van meten is het beslissen tussen twee mogelijkheden (ja of neen, de auto-accu is voldoende geladen of niet). Een meting waarbij de uitslag drie mogelijkheden heeft (te zwaar – goed – te licht) gaat al een stapje verder. Bij de meeste metingen zijn in principe on-eindig veel verschillende uitslagen mogelijk.

Voor het actieve element, de handeling, heeft de benaming „regelen” algemeen ingang gevonden; spreken we niet over verkeersregeling en het regelen van onze zaken? Vandaag zullen we echter alleen het woord *regelen* gebruiken als het gaat om handelingen ter beïnvloeding van meetbare grootheden, waarvan het effect wordt gemeten en na vergelijking met het beoogde doel de verdere handelingen beïnvloedt. Met andere woorden, als meting en handeling samen met de regelaar en het te regelen object een zichzelf controlerend geheel, een gesloten regelketen vormen. Het beoogde doel kan zijn, dat men bepaalde grootheden constant wil houden (stabilisatie, productiecontrole), opti-

maal wil maken (optimalisatie), begrenzen wil (beveiliging) of op een bepaalde wijze wil laten veranderen (programma-, servo-oftewel slaafregeling).

De mens heeft geleerd om welbewust een deel van zijn taak aan apparaten over te dragen; dit proces noemt men *automatiseren*. In het bijzonder spreekt men van *mechaniseren* voor zover men de apparaten slechts handelingen en geen controle laat verrichten. Hierbij worden handelingen, zoals het vullen, bedienen en ledigen van machines geheel of gedeeltelijk overgenomen door speciale mechanismen, die tevens het grootste deel van de benodigde energie opbrengen, maar de controle moet nog geheel door de mens uitgeoefend worden. Onvolledige mechanisatie kan tot *Modern Times*-situaties leiden, waarin de arbeider in het tempo van de machine moet werken. Gelukkig is ook deze moderniteit snel ouderwets geworden. Zodra men nu ook een deel van de controletaak en de bijbehorende corrigerende handelingen overdraagt aan apparaten, moet men van *automatische regeling* spreken. Naar gelang het doel van de regeling spreekt men dan van automatische stabilisatie, productiecontrole, optimalisatie, beveiliging, programma- of slaafregeling. Volledige mechanisatie verlost de arbeider van de handelingen, automatische regeling van de controletaken in het tempo van de machine. Het overnemen van menselijke taken door een machine moet men overigens niet te veel als een directe imitatie zien. Automatisering gaat vaak gepaard met wezenlijke veranderingen in produkt en produktiemethoden; menig automatisch systeem verricht taken, die de mens niet of nauwelijks op dezelfde wijze zou kunnen vervullen.

Tenslotte moeten we melding maken van de *automatische informatie-verwerking*. Hieronder verstaat men het automatisch verzamelen, rangschikken, schiften, combineren, bewerken, vastleggen en verzenden van allerlei gegevens (meest getallen) van administratieve, technische en wetenschappelijke aard. Dit is dus een complex van bewerkingen waarin handeling en controle elkaar voortdurend afwisselen. Voor dit doel worden veelal boekhoudmachines en elektronische rekenmachines gebruikt.

De automatische informatieverwerking, de automatische regeling en de mechanisatie zijn de drie pijlers waarop de automati-

sering berust. Ze hebben gemeen, dat ze de mens van een deel van zijn taken ontlasten. Steeds moeten deze taken nauwkeurig te omschrijven zijn, vaak zijn ze vermoeiend, gevaarlijk of geestdodend, altijd zijn het taken op voor de mens laag niveau. Norbert Wiener karakteriseerde dit kernachtig met de uitspraak: „The automatic machine is the precise economic equivalent of slave labor”.

De fraaiste automatische regelsystemen vindt men in de levende natuur. Biologische regelsystemen zijn zo oud als het leven en sommige biologen zien daar bepaald geen toeval in. Het menselijk lichaam bevat een ontzagwekkend complex regelsysteem, dat behalve de ademhaling, de hartslag, de bloeddruk en de verdeling van het bloed over de organen, ook de hoeveelheden water, koolzuur, suiker, eiwitten, vetten en zouten in het bloed, de lichaamstemperatuur, de bewegingen van alle spieren, en nog ontelbaar vele andere bewuste en onbewuste lichaamsverrichtingen beheerst. Dat de regeltechniek nog heel veel van de levende natuur te leren heeft, wordt wel duidelijk als men bedenkt, dat dit regelsysteem als geheel gegarandeerd een mensenleven meegaat en dat het zich door betrekkelijk ongeschoolde arbeid laat produceren. Omgekeerd blijken medici en biologen te kunnen profiteren van de inzichten van de moderne regeltechniek, bijvoorbeeld doordat van bepaalde lichamelijke afwijkingen een betere verklaring gegeven kan worden. Het is niet uitgesloten dat het diagnostische en therapeutische arsenaal van de medicus langs deze weg uitgebreid kan worden. Een intensieve kruisbestuiving tussen biologie, medicijnen en regeltechniek kan daarom voor elk van deze wetenschappen bijzondere vruchten afwerpen.

De wonderen van de biologische mechanismen zijn niet beperkt tot de mens, of zelfs maar tot de dierenwereld. De zaadjes van de dwerg-mistletoe, die hun houdertjes verlaten met een beginversnelling van ongeveer  $50.000 \text{ m/sec}^2$ , geven de mens weinig reden tot hoogmoed, als hij bij het lanceren van een aardsatelliet een beginversnelling van  $50 \text{ m/sec}^2$  weet te behalen. Toch is het succesvol lanceren van deze satellieten een prestatie van de eerste orde, waarbij ook de regeltechniek een rol van betekenis speelt. Laten we daarom nu eens zien, hoe deze zich ontwikkeld heeft.

Daartoe moeten we een ogenblik stilstaan bij de cultuur waaraan we het dozijn, het gros en de astronomie te danken hebben, zowel als de astrologie en het geloof dat zwarte katten die ons pad kruisen, ongeluk brengen: de Soemerisch-Babylonische cultuur.

Astronomische waarnemingen vereisen nauwkeurige tijdmetingen. De Babyloniërs gebruikten daartoe de waterklok (klepsydra), die op hetzelfde principe berust als de zandloper. Zij baseerden hun wegingen op het gewicht van het regenwater, dat een kubusvormig vat met ribben ter lengte van 1 Babylonische el kon bevatten. Voor het meten van tijden werd een dergelijk vat voorzien van een kleine opening in de bodem. Het uitstromende water werd opgevangen in een maatvat met een tijdschaal. Reeds vroeg realiseerde men zich, dat de uitstroomsnelheid afneemt naarmate de waterspiegel in het voorraadvat daalt. Wil men – zoals in de astronomie – gedurende lange tijd nauwkeurig kunnen meten, dan moet het waterpeil in het voorraadvat bij voorkeur constant gehouden worden. Voor dit doel heeft men, reeds voor het begin van onze jaartelling, een automatisch regelsysteem bedacht, dat als volgt werkt. In het voorraadvat laat men een vlotter drijven, die met zijn conische bovenkant precies de conische uitmonding van een toevoerleiding kan afsluiten. Daalt de waterspiegel, dan daalt de vlotter mee, waardoor de opening groter wordt en de watertoevoer iets toeneemt; stijgt de waterspiegel, dan zorgt de vlotter er voor, dat de toevoer verminderd wordt. Varianten op dit principe worden ook nu nog op grote schaal in bedrijf en huishouding toegepast. Het is niet bekend wie de uitvinder was. Daar Ktesibios van Askra reeds veel met waterklokken en vlotters experimenteerde, evenals zijn leerling Heron van Alexandrië, die bijvoorbeeld de pit van een lamp door een vlotter in het oliereservoir liet bedienen, is het wel aan te nemen dat de vlotter-regelaar meer dan 2000 jaar oud is.

Pas in de tweede helft van de 18e eeuw zien we de automatische regelaar in dienst van de nijverheid treden, aanvankelijk slechts om grote natuurlijke veranderingen bij het malen op te vangen. Zo werd bij sommige watermolens elk teveel aan water automatisch weggewerkt met behulp van een vlotter die een schuif in een omleidingskanaal bediende. Om grote windmolens



op de wind gericht te houden, werd in die tijd een automatisch volgsysteem bedacht, dat men ook nu nog wel toepast. Daartoe voorziet men de kap van een extra, kleiner stel wieken, die vrij kunnen draaien in een vlak, haaks op dat van de grote hoofdwieken. Deze hulpwieken, die via een tandwieloverbrenging de kap kunnen verdraaien, blijven alleen stil staan als de wind precies van opzij komt en de hoofdwieken recht van voren treft. Als de wind iets draait, brengt hij de hulpwieken in beweging, die de kap met de wind doen meedraaien en pas weer tot rust komen als de kap precies in de goede richting staat.

In de windmolen van die tijd kon men ook een soort centrifugaal-mechanisme aantreffen dat, als de omwentelingssnelheid te groot werd, de bovenste molensteen oplichtte teneinde oververhitting van het graan te voorkomen. Dit principe werd omstreeks 1785 door JAMES WATT toegepast in zijn bekende snelheidsregulateur. WATTS verbetering van de stoommachine leidde tot een snelle industriële ontwikkeling, waarin het accent aanvankelijk vrijwel geheel op de mechanisatie lag. Van de hink-stap-sprong waarmede de regeltechniek op gang kwam, werd de hink eigenlijk pas gezet in de decennia rond 1900, toen de automatische regeling zich langzaam uitbreidde van de stoommachines naar de stoomketels enerzijds, en de elektrische dynamo's en motoren anderzijds. De groeiende interesse in de witte steenkool had tot gevolg, dat men ook de regeling van de waterturbine ging automatiseren, zodat omstreeks 1920 een hele reeks onbemande hydro-elektrische centrales in gebruik genomen kon worden.

De stap ter voorbereiding van de grote sprong valt in het begin van de jaren twintig. In deze periode wordt de eerste automatische piloot beproefd en worden de bestaande regelaars, waaronder de automatische slaafbesturing van grote schepen en de stabilisatie-regeling van torpedo's, die dan beiden reeds een halve eeuw oud zijn, verder verbeterd. De chemische industrie geeft acte de présence met de eerste publikatie over automatische regeling van continue destillatiekolommen, die van kwantitatieve gegevens voorzien is.

De grote sprong begint omstreeks 1929 met een stroom van publikaties. In snelle opeenvolging verschijnen mededelingen over het automatisch regelen van drukken, niveaus, temperaturen, gas- en vloeistofstromen en complete productieprocessen,

over elektromechanische servosystemen en teruggekoppelde elektronische versterkers. Ook de theorie, gebaseerd op het 19e-eeuwse werk van figuren als MAXWELL, ROUTH, HURWITZ en LIAPUNOFF komt dan pas goed op gang. Vandaag, in 1960, kunnen we duidelijk zien hoe de regeltechniek zich sindsdien uitgestrekt heeft tot talloze nieuwe gebieden. Op dit moment verrichten miljoenen automatische regelsystemen hun taak, zowel in de kolen- en staalbedrijven, als in het huishouden, zowel in de chemische en aardolie-industrie, als in bierbrouwerijen en polderwerken, in de meteorologie en de textielwereld, de metallurgie en de astronomie, zowel in geleide projectielen, als in de praktijk van de medicus, in de elektrotechniek, de cement- en voedselindustrie en mechanische werkplaatsen, in stoommachines zowel als in kernenergiecentrales, papierfabrieken en scheepswerven, in de agrarische sector zowel als in de fotografische industrie, het transportwezen en de mijnbouw. Bij deze imposante ontplooiing van menselijk vernuft past een enkele kanttekening over de bijdrage van de regeltechniek.

Bijna alle automatische regelingen werken volgens hetzelfde eenvoudige beginsel. Als men een bepaalde grootte, b.v. een waterstroom, wil regelen, brengt men een meter en een regelorgaan (regelklep) aan, die men verbindt met een geschikte regelaar. Deze gaat nu voortdurend de werkelijke waarde van de te regelen grootte vergelijken met de gewenste waarde en als er een afwijking optreedt, zal hij door verstelling van het regelorgaan trachten deze te corrigeren. Zou de waterstroom om een willekeurige reden wat groter worden, dan zou de regelaar de regelklep een weinig dicht draaien, teneinde de afwijking te verkleinen. Zou de waterstroom wat afnemen, dan zou de regelklep wat meer geopend worden. Op deze wijze wordt het effect van elke willekeurige storing zoveel mogelijk gecorrigeerd. De grootte en de snelheid van de corrigerende actie hangen meestal af van de instelling van de regelaar, de grootte van de afwijking en de snelheid waarmede de afwijking toe- of afneemt. De gewenste waarde kan door een andere regelaar of door de mens ingesteld worden.

Dit systeem fungeert als stabiliseringsregeling indien de gewenste waarde vast ingesteld is, en als slaafregeling, indien de gewenste waarde variabel is. Sommige slaafregelingen bezitten

regelorganen die veel energie kunnen ontwikkelen, b.v. voor het richten van scheepsroeren of geschutstorens. De gewenste stand kan met weinig inspanning veranderd worden en de slaafregelaar zorgt er dan voor, dat de werkelijke stand deze nauwkeurig en snel volgt. Men kan zo'n slaafregeling ook beschouwen als een energieversterker.

Bij het toepassen van deze principes doen zich allerlei problemen voor. Het stemt tot nadenken, dat tot nog toe de meeste ervan zonder veel steun van de theorie opgelost werden. Dit geldt vooral voor produktieprocessen, die zich niet in het dwangbuis van een eenvoudige differentiaalvergelijking laten stoppen. Niet zelden moeten in zo'n proces verscheidene grootheden tegelijkertijd geregeld worden, waardoor allerlei onoverzichtelijke interacties optreden. Vaak kan de belangrijkste grootheid (b.v. de kwaliteit van een produkt) niet automatisch geregeld worden, omdat er geen bruikbare meetinstrumenten voor bestaan. De theorie van de regeling van zulke processen is niet eenvoudig; de ontwikkeling ervan werd lange tijd geremd, doordat te weinig regeltechnici de kunst verstonden om met één been in de praktijk en het andere in de theorie te staan. Theoretici die uitgingen van onhoudbare veronderstellingen, zich weinig moeite gaven om hun resultaten in klare taal uiteen te zetten en nog minder om ze aan de praktijk te toetsen, droegen evenmin bij tot verbetering van de situatie als practici die zich verloren in details van hun apparaten. Gelukkig geeft het nu achter ons liggende decennium grote verbeteringen te zien. Toch bleven er nog belangrijke vraagstukken onopgelost. Zo zou men om een regelsysteem te kunnen ontwerpen, eigenlijk precies moeten weten aan welke eisen het moet voldoen. Nu lijkt het zo gemakkelijk om deze eisen te formuleren, maar in negen van de tien gevallen kan de regeltechnicus zich nóch met vriendelijke woorden, nóch met vuurwapenen voldoende nauwkeurige voorschriften verschaffen. Dit komt doordat over de directe invloed van een regelaar op de economie van een proces vrijwel niets bekend is. Voldoende gedetailleerde en betrouwbare gegevens hierover zouden voor de verdere rationalisatie van de regeltechniek een enorme stimulans zijn.

Met dat al ontwikkelt de theorie zich zo snel, dat het automatisch regelen over de gehele linie bezig is van een kunst, een kun-

de te worden. In 1882 hield Siemens een lezing in Southampton, waarin hij, wijzend op de talrijke toepassingen van de elektriciteit voor verlichting, verwarming en aandrijving, het ontstaan van een nieuwe technologie voorspelde en een gloedvolle toekomst voor het bijbehorende beroep van elektrotechnisch ingenieur. Thans, 78 jaar later, begint de regeltechniek soortgelijke symptomen van volwassenheid te vertonen. Uitgaande van de wiskunde, de klassieke fysica en de instrumententechniek, heeft zij zich een eigen filosofie en een eigen discipline geschapen. Geconfronteerd met het technische spel der potten en pannen, assen en stangen, elektronenbuizen en elektromotoren, ziet de regeltechniek essentiële gelijkenissen, die anderen niet direct opvallen. Als de regeltechnicus werkt aan de regeling van een chemisch proces, kunnen ervaringen met de stabilisatie van een vliegtuig, het beproeven van een elektronische versterker of het regelen van een kernreactor hem de weg tot de oplossing wijzen.

Eén van de grootste charmes van de regeltechniek is wel, dat zij problemen krijgt uit alle provinciën van de techniek en dat het haar taak is deze zonder technisch provincialisme op te lossen. Nu eens zullen elektro-hydraulische, dan weer mechanische, een andere keer zuiver elektronische of pneumatische hulpmiddelen het beste zijn. Bij dit alles moet zij tussen vele klippen doorzeilen, niet alleen de Scylla van de instabiliteit en de Charybdis van de onvoldoende regeling, maar natuurlijk ook het onafscheidelijke drietal geld, tijd en mensen, en de klippen die plotseling oprijzen, doordat de praktijk nu eenmaal nooit precies zo uitvalt, als de theorie doet verwachten. Bij dit alles is een nauw contact tussen regeltechnicus en opdrachtgever van primair belang. Liefst moet dit contact reeds bij het begin van een nieuwe ontwikkeling aangaan, opdat alle onderdelen van het project zo goed mogelijk op elkaar afgestemd kunnen worden. Hoe een schijnbare kleinigheid het effect van een groot geheel kan beïnvloeden, wordt op aardige wijze geïllustreerd door de ervaringen van een groep technici, die een bepaald instrument voor een nieuw gevechtsvliegtuig moesten ontwerpen. Dit instrument zou uit het gelijkstroomnet van het vliegtuig gevoed moeten worden, maar de ontwerpers zagen al spoedig in, dat voeding uit het wisselstroomnet belangrijke voordelen zou bieden. Daarom dienden zij een verzoek in, om wisselstroom te mogen gebruiken en werkten alvast in deze richting door. Stelt U zich hun verbazing en veront-

waardiging voor, toen ze na enige tijd nul op request kregen! Bij nader onderzoek bleek de motivering als volgt te zijn. Het wisselstroomnet was reeds vol belast; het vermogen kon opgevoerd worden, maar niet zonder verbreding van het dashboard met enkele inches. Daar het dashboard de gehele breedte van de cockpit besloeg, moest dan ook de neus van het toestel verbreed worden. Omdat de propellers echter reeds zeer dicht langs de neus draaiden, zouden de motoren wat naar buiten verplaatst moeten worden, hetgeen niet mogelijk was zonder verlenging van de vleugels. Het verzoek werd afgewezen, omdat een toestel met zulke verlengde vleugels niet meer zou kunnen landen op een vliegdekschip dat door het Panamakanaal kon!

De meest geregelde grootheden zijn niveau, druk, temperatuur en materiestroom, mechanische grootheden zoals dikte, verplaatsing, kracht en koppel, en elektrische grootheden zoals stroom, spanning en frequentie. We merkten reeds op dat de kwaliteit van produkten, d.w.z. samenstelling en eigenschappen, zelden automatisch geregeld wordt, omdat geschikte meetinstrumenten schaars zijn of geheel ontbreken. Door het constant houden van de bedrijfscondities tracht men produkten van constante kwaliteit te verkrijgen. Ter controle laat men regelmatig monsters van het produkt beproeven in het bedrijfslaboratorium. Aan de hand van de aldus verkregen gegevens, tracht het bedieningspersoneel de bedrijfscondities optimaal in te stellen. Optimaal betekent hier in principe: het meest economische compromis tussen factoren als produktiekosten, produktiesnelheid en produktkwaliteit. In de praktijk is dit compromis meestal moeilijk te preciseren, maar vaak kan men het benaderen door het maken van de vereiste hoeveelheid produkt van de vereiste kwaliteit tegen minimale kosten. Het bedieningspersoneel maakt dus deel uit van een regelsysteem, dat tegelijkertijd de kwaliteit constant en de kosten minimaal moet maken. Dit regelsysteem werkt intermitterend en met grote vertraging. Voor produktieprocessen die maandenlang ongewijzigd blijven is dit geen bezwaar, maar voor processen die onder wisselende omstandigheden plaatsvinden, kunnen de nadelen aanzienlijk zijn. Voor deze processen kunnen automatische kwaliteitsregeling en optimaliseringsregeling zeer voordelig zijn.

Aan beide onderwerpen wordt hard gewerkt. Het aantal kwa-

liteit-meetinstrumenten die bruikbaar zijn voor automatische regeling neemt gestadig toe. De laatste jaren zijn ook verscheidene optimaliseringsregelaars ontwikkeld. Het Case Institute of Technology te Cleveland in de U.S.A. bericht, dat de ladingsgewijze hydrogenering van katoenzaadolie (een schakel in de margarinebereiding) door toepassing van een optimaliseringsregelaar met gemiddeld 23 pct. bekort kon worden, hetgeen een verhoging van 30 pct. in de dagproductie betekent.

Een ander voorbeeld, ditmaal uit de Sovjet Unie, betreft een droogoven voor baksteen, die bestaat uit een lange tunnel waarvoor wagentjes met het te drogen materiaal rijden. Het vuur in de oven wordt onderhouden door toevoer van gas en lucht. Voor een optimale verbranding is een zekere gas/lucht-verhouding vereist. Is er te weinig lucht, dan verbrandt het gas niet volledig, is er te veel, dan gaat met de overtollige lucht warmte verloren. De gashoeveelheid is bekend, maar de beschikbare hoeveelheid lucht hangt niet alleen af van de toevoer, maar ook van de trek van de schoorsteen, de lek langs de wagentjes enzovoorts. Men laat nu een optimaliseringsregelaar bij constante gastoevoer de luchttoevoer zodanig instellen, dat de oventemperatuur maximaal wordt. \* Waarschijnlijk bereikt de regelaar dit, door met regelmatige tussenpozen de luchttoevoer stapsgewijs te vergroten of te verkleinen, waarbij de richting van elke stap afhangt van het effect van de voorafgaande stap. Wordt deze gevolgd door een stijging in temperatuur, dan wordt de nieuwe stap in dezelfde richting gemaakt, daalde de temperatuur daarentegen, dan volgt een stap terug. Het gebruikte apparaat ziet er niet ingewikkelder uit dan een gewone regelaar en zal in fabricage ook niet veel duurder zijn.

De regeltechniek heeft plotseling ontdekt dat het optimaliseren van processen binnen haar bereik ligt en zij heeft zich enthousiast gezet aan het bedenken van regelaars die dit automatisch kunnen doen. Nog is het aantal industriële toepassingen gering, maar de meest principiële uitbreiding van regeltechniek sedert haar ontstaan heeft zich duidelijk aangekondigd.

---

\*) Men neemt dus aan, dat maximale temperatuur en optimale verbranding voldoende nauwkeurig samen vallen.

Laten we ons tenslotte wagen aan een blik in de toekomst. Het spreekt vanzelf, dat zulks onder al het mogelijke voorbehoud geschiedt. Als we bedenken, hoe verrassend de regeltechniek zich de laatste 40 jaar heeft ontwikkeld, dan wordt bijzonder duidelijk dat de ontwikkeling in de resterende 40 jaar van deze eeuw zich zelfs niet in grote lijnen laat voorspellen. Laten we ons daarom beperken tot de naaste toekomst.

Kijkend in de hogedruk-autoclaaf van de toekomst, zie ik de chemische industrie gewaagde processen invoeren, die onder kritieke omstandigheden verlopen en waarin een kleine ontregeling de winst in verlies kan doen verkeren. Zulke processen zullen een grote stimulans voor de regeltechniek zijn, maar omgekeerd zullen ze slechts mogelijk zijn door automatische regeling. Hoeveel processen zouden er eigenlijk in het verleden mislukt zijn door onvoldoende regeling? En hoeveel waardevolle reacties sneuvelen nu nog dagelijks in het laboratorium, omdat de experimentator ze niet „in de hand kan houden”? Toch kunnen inhaerent instabiele processen dankzij automatische regeling commercieel benut worden.

In andere industrieën zal het beeld hetzelfde zijn: prestaties, gedurfter dan we ons nu kunnen voorstellen, niet in de laatste plaats succesvol dankzij de regeltechniek. Laten we echter hopen, dat de regeltechniek zich ook buiten de industrie meer in dienst van de mensheid zal kunnen stellen. Zou zij niets kunnen bijdragen tot de veiligheid van het wegverkeer? We merken reeds op, dat de regeltechniek wellicht de medicus van dienst kan zijn bij diagnose en therapie. Zou zij ook kunnen helpen waar biologische regelingen falen? Er zijn reeds honderden hartpatiënten, die zich vrij kunnen bewegen dankzij een toestelletje ter grootte van een gehoorapparaat, dat het hart op gang houdt door het ongeveer eens per seconde een lichte elektrische schok te geven. Dit is geen automatische regeling, want het tempo wordt de patiënt zonder directe controle opgedrongen. Hetzelfde geldt voor de patiënt in een ijzeren long. Hoewel zijn spieren niet meer werken, kan het zenuwcentrum dat normaliter de ademhaling regelt, nog intact zijn. Zou de regeltechniek niet in staat zijn de regelketen te versterken, waar de biologische schakels te zwak zijn, en zou van dit herstel van de natuurlijke regelfuncties geen heilzame werking op het gehele organisme uitgaan?

Dit zijn waarschijnlijk niet de beste, misschien zelfs wel heel slechte voorbeelden, maar ze zijn voldoende om een bijzonder dankbaar toepassingsgebied van de regeltechniek te doen vermoeden.

De regeltechniek heeft behoefte aan instrumenten die gevoelig, nauwkeurig, snel en betrouwbaar zijn en eenvoudig in onderhoud. De elektronica kan hier het „Sesam, open U!” zeggen, maar daarvoor moet nog veel gebeuren. De petroleumindustrie zal bijvoorbeeld pas volledig van dit medium kunnen profiteren, als men de gebruikte signalen standaardiseert en een bijpassend, goedkoop en explosievast type regelklep ontwikkelt.

Dan is er nog de wonderbaarlijke „Data Logger”, een apparaat dat automatisch lange series metingen verricht, de uitkomsten in gantvorm tabelleert en alarm slaat als het een abnormale waarde aantreft. Als analysator van het produktieproces, in handen van researchwerkers en technologen, kan deze massaproductent van notariële akten van onschatbare waarde zijn, niet in het minst voor de research op het terrein van de regeltechniek. Maar het produktieproces zelf heeft kernachtige informatie nodig, en geen lange lijsten met getallen. Als men deze apparaten in werking ziet, vraagt men zich met verbijstering af, waar de stroom van getallen, 5 per seconde, 300 per minuut, 18000 per uur, 432000 per etmaal en ruim 150 miljoen per jaar, wel toe dient, en het schenkt enige voldoening dat de meeste van deze apparaten thans nog vóór het honderdmiljoenste getal defect raken. Gelukkig zijn er twee goede middelen om een dergelijke zondvloed van gegevens tot een kleinere omvang te reduceren: de elektronische rekenmachine en de lucifer.

Gunstiger zijn dan ook de vooruitzichten van de elektronische rekenmachine die verbonden is met de belangrijkste meetinstrumenten in het produktieproces, deze om getallen vraagt wanneer hij die nodig heeft, daaruit afleidt hoe de produktie optimaal gemaakt kan worden en dan eventueel zelf de vereiste wijzigingen aanbrengt, b.v. door instelling van conventionele slaafregelaars. En passant kan zo'n machine dan nog een dagelijks rapport voor de bedrijfsleiding opstellen. Is in bepaalde, goed omschreven noodgevallen een reeks snelle beslissingen en handelingen volgens een vast patroon noodzakelijk, dan kan ook deze taak aan de machine overgedragen worden. De rekenmachine-



regelbaar, aanvankelijk gecombineerd met conventionele meet- en regeltoestellen, maakt een goede kans voor bepaalde nieuwe installaties. Voor het overige heeft de industrie voorlopig meer te verwachten van eenvoudige optimaliseringsregelaars, die zich door hun vorm en functie gemakkelijker laten invoeren in bestaande installaties. Met deze regelaars zal de industrie zonder veel risico althans de zoetste vruchten van de optimalisering kunnen plukken. Het belang van de elektronische rekenmachine moet misschien meer gezocht worden in de planning van grote bedrijven, dan in de kleinhandel van de procesregeling.

De regeltechniek dient zich bij dit alles wel te realiseren, dat nieuwe methoden langzamer ingang zullen vinden, naarmate ze een meer gedetailleerde kennis van het productieproces vereisen. Het doen van experimenten, het verzamelen van gegevens en het opdoen van ervaring kan veel tijd kosten, maar ook van deze taken laat zich een deel automatiseren. Er zijn reeds automatische regelaars die in bescheiden mate kunnen leren, die een weinig mogen experimenteren, die desnoods een gokje (met recht een „calculated risk”) kunnen wagen en zich al doende aanpassen aan de eigenschappen van het proces. Grote, universele apparaten van dit type zal men kunnen gebruiken bij het in werking stellen van nieuwe installaties. Voor dit doel zijn speciale elektronische rekenmachines uitermate geschikt, omdat in het begin zeer veel gegevens verwerkt moeten worden. Als na enige tijd de grootste verbeteringen bereikt zijn, heeft het apparaat zichzelf groten-deels overbodig gemaakt en kan het vervangen worden door speciale toestellen die eenvoudiger en goedkoper zijn.

Nóg is de regeltechniek te zeer geneigd om steeds streng het digitale van het analoge, het niet-lineaire van het lineaire en het discontinue van het continue te onderscheiden. Door innige vermenging van al deze elementen zal de toekomst ons echter regelaars kunnen schenken die eenvoud paren aan verrassende prestaties.

Tot zover onze schets van wat de regeltechniek ons in de toekomst zou kunnen bieden. In hoeverre en hoe snel deze mogelijkheden benut zullen worden, hangt van een complex van technische, organisatorische en sociaal-economische factoren af. Het zou nuttig en interessant zijn om wat langer bij deze problema-

tiek stil te staan, maar helaas kan ik slechts kort een enkel punt belichten.

Wat beperkt nu eigenlijk de snelheid van het automatiseringsproces? In de eerste plaats, dat de economie de soep niet zo heet consumeert, als de techniek haar wel zou willen opdienen. Het merkwaardige verschijnsel doet zich voor, dat de techniek veel meer kan dan de economie wil (technisch analoge problemen hoeven immers nog niet economisch analoog te zijn), en tegelijkertijd de economie veel meer wil, dan de techniek kan. De vereiste aanpassing van het technisch kunnen vereist tijd en technici, veel technici zelfs. De lange pijpleiding van het technisch onderwijs kan slechts een matig automatiseringstempo onderhouden. Het is daarom niet uitgesloten dat de automatisering zich in ons land langzamer zal voltrekken, dan om sociaal-economische en commerciële redenen gewenst is. Hier ligt dan ook een belangrijk drielandpunt tussen maatschappij, Technische Hogeschool, en het deel van het automatiseringsproces dat vandaag onze speciale belangstelling heeft: het automatisch regelen.

Eerder in deze rede heb ik er op gewezen, dat de regeltechniek enkele volwassen trekjes begint te vertonen. Betekent dit, dat in de toekomst een speciale opleiding tot regelkundige, of misschien wel tot automatoloog zal ontstaan? Het is niet uitgesloten, maar voorlopig lijkt specialisatie in de laatste fase van de bestaande ingenieursopleidingen wel de aangewezen weg. In ieder geval moet ten minste één der beide mogelijkheden bewust ontwikkeld worden. Er bestaat een verblijdende neiging om de kunstmatige scheidingswanden tussen de bestaande technologieën te doorbreken. Tot dit streven zou de regeltechniek op bijzondere wijze kunnen bijdragen.

Er zijn nog vele andere factoren die het tempo beperken. Eén ervan is de instrumentenindustrie, die op volle toeren werkt, bijna geen nieuwe krachten kan aantrekken en zich bovendien slecht leent tot automatisering. Dit is met recht de industrie waarin men overuren maakt om arbeid te besparen. Voorts zijn er grote sectoren van het bedrijfsleven, die zich evenmin lenen tot intensieve automatisering, zoals de mijnindustrie, de bouwwereld, de handel en de dienstverleningen. Tenslotte is automatiseren méér dan het incidenteel kopen en installeren van auto-

matische machines; de doeltreffendheid waarmee alle componenten van het produktiesysteem op elkaar afgestemd zijn, speelt een doorslaggevende rol. Fundamentele vragen over produkt en vervaardiging, controle en bedrijfsleiding, verkoop en financiering moeten op onbevangen wijze onder ogen gezien worden, hetgeen soms meer waard blijkt te zijn dan het eigenlijke automatiseren. Voegt men hierbij de vele andere problemen waarvoor het bedrijfsleven zich gesteld ziet, dan lijkt het niet zeer waarschijnlijk dat de automatisering zich over een breed front zo snel zal kunnen ontwikkelen dat de stabiliteit van de samenleving in gevaar komt. Dit betekent echter niet, dat de vooruitgang in bepaalde gebieden (b.v. sommige delen van de administratieve sector) niet verrassend snel kan verlopen. Maar het automatiseringsproces heeft geen massale werkeloosheid te veroorzaken en heeft dat tot nog toe ook niet gedaan. Het schept betere arbeidsvoorwaarden, nieuwe arbeidsmogelijkheden en een hogere levensstandaard. Het schept echter ook een verplichting tegenover achtergebleven volkeren, bevolkingsgroepen en personen.

Naar schatting van de U.N. Food and Agriculture Organization leven 1700 miljoen mensen zonder voldoende voedsel, beschutting en/of gezondheidszorg. Alleen al aan de gevolgen van ondervoeding sterven naar schatting 8000 mensen per dag. In de Britse kolenmijnen verrichten 270.000 mijnwerkers hun zware en gevaarlijke werk om in 1/3 van de Britse kolenbehoefte te voorzien. Daarentegen leveren praktisch onbemande olievelden 1/3 van de Britse oliebehoefte, waarvan de raffinage slechts enkele tientallen „operators” vereist. Het gevaar is niet denkbeeldig, dat grote groepen van mensen geestelijk en materiëel geïsoleerd raken als de industriële landen voor hun welvaart geen verstandige koers uitzetten.

Tenslotte verdient de individuele mens bijzondere aandacht. Een opgedrongen verandering is iets geheel anders dan een vrijwillige verandering. Toch hoeven veranderingen in werk, werkring, scholing en beloning niet te knellen, ze kunnen zelfs het levensgeluk verhogen, maar daartoe is een langdurige voorbereiding en een bijzonder bewust en fijn besnaard contact met alle betrokkenen vereist. Ook de problemen rond de vrije tijdsbesteding worden steeds belangrijker. Zoals elke technische vooruitgang brengt ook de automatisering overgangsproblemen met zich mee, die om een oplossing vragen. Het is bemoedigend te

zien, hoe allerwege de mens daarbij in het brandpunt van de belangstelling staat. En geen wonder, want de praktijk heeft ons de paradoxale les geleerd dat automatisering niet alleen de behoefte aan menselijke werkers vergroot, maar tevens hun plaats in de industriële samenleving belangrijker en menswaardiger maakt.

*Zeër gewaardeerde toehoorders,*

In het voorafgaande heb ik getracht U een vluchtige schets te geven van de regeltechniek met haar mogelijkheden en tekortkomingen, en haar relatie tot enkele andere gebieden van menselijke activiteit. Ik hoop dat het mij gelukt is om aannemelijk te maken, dat de gewone kost uit de keuken der regeltechniek, voor haar beoefenaars een dagelijks weerkerende feestdis kan zijn.

Bij de officiële aanvaarding van mijn ambt zij het mij vergund Hare Majesteit de Koningin, Wie het behaagd heeft mij te benoemen tot hoogleraar aan deze Technische Hogeschool, mijn eerbiedige dank te betuigen.

*Mijne Heren Curatoren,*

Het past mij, eveneens een woord van dank tot U te richten voor het feit dat U mij voor deze benoeming hebt willen voordragen. Ik verzeker U dat ik met vreugde mijn beste krachten zal wijden aan de opbouw van onderwijs en onderzoek aan deze Technische Hogeschool.

*Mijne Heren Leden en Adviseurs van de Senaat, in het bijzonder van de Afdeling der Algemene Wetenschappen,*

De regeltechnicus moet voortdurend op zijn hoede zijn voor instabiliteitsverschijnselen. Periodieke verschijnselen, die op stabiele oscillaties zouden kunnen wijzen, wekken dan ook altijd zijn bijzondere belangstelling. Nu heeft het mijn aandacht getrokken, dat vanaf deze plaats en ongeveer op dit moment, steeds het woord tot U gericht wordt in buitengewoon positieve zin. Nadere beschouwing leerde, dat de periodeduur van dit verschijnsel precies 14 dagen bedraagt, met een standaardafwijking van

niet meer dan 0,04 pct. Tevens bleken de fluctuaties zich na een onderbreking voor een vakantie onmiddellijk te herstellen. Daar tot voor twee weken geen extinctie van het verschijnsel waar te nemen viel, is het mogelijk dat we hier met een stabiele oscillatie te doen hebben.

Nu is er een kans, dat dit verschijnsel volmaakt toevallig is; daarom heb ik me afgevraagd of aan de volgende drie voorwaarden voldaan is:

1. de aanwezigheid van ten minste één energiebron;
2. de aanwezigheid van ten minste één resonator, en
3. een voldoende geringe demping.

Aan elk van deze voorwaarden is ruimschoots voldaan. De energie welke Gij ontplooit bij de opbouw van deze T.H. maakt dat de eerste voorwaarde zonder twijfel vervuld is. Resonantie betekent weerklank, en weerklank heb ik in zo ruime mate bij U gevonden, dat ook aan de tweede voorwaarde zeker voldaan is. Rest nog de laatste voorwaarde. Demping komt vaak tot stand door wrijving en de vraag is nu, of de energie welke daarbij verloren gaat, klein is ten opzichte van de totale energie. Gij zult wel met mij eens willen zijn dat de zaken hier zo gesmeerd lopen, dat de wrijving nietig is vergeleken met de ontplooidde energie en dat we daarom met recht van een stabiele oscillatie mogen spreken.

Mijne Heren, ik bewonder Uw energie, dank U voor de weerklank die ik bij U mocht vinden, en hoop dat ik het mijne zal mogen bijdragen om de energie zo groot, de resonantie zo sterk en de wrijving zo onbeduidend te houden, dat mijn opvolgers op deze plaats tot in lengte van dagen van de sterkte van deze verschijnselen zullen kunnen getuigen.

*Hooggeleerde Westerdijk,*

Mochten mijn toekomstige leerlingen later met evenveel dankbaarheid terugdenken aan hun studietijd, als ik aan de tijd welke ik onder Uw leiding mocht werken, dan zal ik mij in mijn onderwijstaak grotendeels geslaagd weten.

*Hooggeleerde Verhagen,*

Als adviseur van deze T.H. heeft U reeds jaren geleden met be-

kwame hand een aantal bakens uitgezet, die mij het navigeren wel bijzonder licht gemaakt hebben. Ik hoop dat ik ook in de toekomst nog menigmaal van Uw goede raad zal mogen profiteren.

*Hooggeleerde ECKMAN,*

It has been a great privilege indeed, to be in daily contact with you for nearly a year. Your creativity has taught me that, although criticism may have the last word in science, it can never say the first.

*Mijne Heren Medewerkers van de Koninklijke Shell Groep, in het bijzonder van het Koninklijke/Shell Laboratorium Amsterdam, beste Vrienden,*

Gaarne wil ik vandaag U allen mijn grote erkentelijkheid betuigen voor de vele prettige, vruchtbare en stimulerende contacten die ik in en buiten het werk met U mocht hebben. Dat ik het werken in de regeltechniek als een feest beschouw, komt door het klimaat dat U in Uw organisatie voor haar geschapen heeft. Vooral U, zeer gewaardeerde VAN DRIEL, JANSSEN, REMAN en IDZERDA hebben daar zeer toe bijgedragen. Uw opvattingen over de regeltechniek zullen de studenten overal in mijn colleges aantreffen. Dat ik van een natuurkundig ingenieur moest leren wat regeltechniek is, heeft me niet zo verbaasd, maar het heeft me wél te denken gegeven dat ik van een doctor in de fysica moest leren, wat een ingenieur eigenlijk is. Het contact met onze Amerikaanse collega's van Shell Development Company is een speciale vermelding waard. Het feit, dat ik U beste HOYT, COWLEY, OLNEY en STANTON in mijn moedertaal kan bedanken voor de vele waardevolle contacten, is een bewijs van de intensiteit ervan.

*Dames en Heren Studenten,*

Er was eens een man die slechts twee ambities in zijn leven had. De ene was om een universeel oplosmiddel te vinden, waarin alle vaste stoffen zouden oplossen, de andere om het materiaal te vinden voor het universele vat, waarin alle vloeistoffen bewaard zouden kunnen worden.

De beoefening van de wetenschap bestaat uit twee componenten, de vaste stof van de creatie en het oplosmiddel van de kritiek. Het hoger onderwijs en de vakliteratuur zetten U voornamelijk oplossingen voor. Het bedriegelijke hiervan is, dat vaak alleen het oplosmiddel duidelijk zichtbaar is. Laat U zich door de kritisch-rationele logica van de gepresenteerde oplossingen vooral niet misleiden! Het oplosmiddel van de kritiek kan pas toegepast worden, nadat de creatie iets tot stand gebracht heeft. Het creatieve proces is onlogisch, onzakelijk, ongebonden, ongericht en onverantwoordelijk, en juist daardoor zo bijzonder waardevol. De huidige wetenschap tracht alleen te publiceren wat de toets der kritiek kan doorstaan en terecht. Het is alleen spijtig, dat het zo boeiende aandeel van het creatieve proces daarbij onvermeld blijft. Wilt u precies weten wat ik bedoel, neemt U dan eens een publikatie van één der grote onderzoekers uit vroeger eeuwen, zoals BOYLE, LAVOISIER of PRIESTLY ter hand en lees hoe ze omstandig uitleggen dat experimenten, die eens hun namen beroemd zouden maken, geheel toevallig tot belangrijke ontdekkingen leidden en hoe lang het wel duurde, voordat ze begonnen te verstaan hetgeen de natuur hun te vertellen had!

Ik wens U vele ambities in Uw leven toe en hoop dat de perfecte creatie en de perfecte kritiek daar twee van zullen zijn. Evenmin als de perfecte vaste stof en het universele oplosmiddel laten deze twee zich gelijktijdig realiseren, maar op de juiste wijze afgewisseld, hebben ze het wonder van de wetenschap tot stand gebracht. Niet alleen kan elk der elementen een gevaar voor het andere zijn, maar bovendien wordt het kritische element bedreigd door geestelijke luiheid en gebrek aan ernst, het creatieve door gebrek aan speelsheid, durf en fantasie. Wij kunnen niet veel meer doen dan U leren het kritische element te beheersen; de ontwikkeling van het creatieve hangt vrijwel geheel van U zelf af.

Ik heb gezegd.