

1. Inleiding en benamingen

1.1 Wat is meet- en regeltechniek, waarom wordt het toegepast en hoe is de uitvoering?

Iedere studie begint met een vraag. Studeren is niets anders dan zoeken naar antwoorden op vragen. Deze vragen wilt u beantwoord zien zonder teveel tijd te verliezen. Daartoe dient deze cursus.

Met deze inleiding wil ik dan ook een poging wagen om u een zodanig inzicht te geven in meet- en regeltechniek dat u een idee heeft waar het in deze cursus over zal gaan.

1.2 De handregeling

In het dagelijks leven zal iedereen wel eens **meten** en **regelen**.

- Douche **fig. 1a**
- Auto **fig. 1b**

Probeer voor beide voorbeelden u de volgende twee zaken af te vragen

- Meten (wat meet u, waarmee meet u)
- Regelen (waarmee regelt u)

Het meten, regelen en corrigeren kan als een **gesloten kring** worden voorgesteld. Een dergelijke kring wordt **regelkring** genoemd.

In **fig. 2** is van de douche een voorlopige (niet genormaliseerde) regelkring weergegeven. Er wordt hier constant, dus telkens opnieuw vergeleken met de gewenste temperatuur.

Dergelijke regelkring = **gesloten regelkring**. Deze manier van regelen kan erg lastig zijn doordat er storingen in het proces kunnen optreden (ergens anders in het huis wordt het koud water volledig opgedraaid).

Daarom zal men meer gebruik maken van een **automatische regeling**. Men stelt de gewenste waarde in en de mens moet niet meer regelen.

1.3 Wat verstaan we nu precies onder een automatische regelkring

Dit is een **gesloten kring**, waarin de **gemeten waarde** van een geregelde grootte wordt **vergeleken** met de **ingestelde waarde**. Afhankelijk van het verschil van deze twee waarden, **zonder dat er door mensenhanden wordt ingegrepen**, de geregelde grootte zodanig beïnvloed, dat dit verschil wordt verkleind of zelfs helemaal wordt weggewerkt. Het enige wat men bij een automatische regeling nog moet doen is de **gewenste waarde** instellen op de regelaar.

Wanneer u voorgaande ingewikkelde zin nog eens loslaat op de douche, wat is dan:

1. De gemeten waarde.
2. De geregelde grootte.
3. De ingestelde waarde.
4. Een gesloten kring.

1.4 Het begrip proces

In een fabriek waar een product gemaakt wordt, spreken we van een **fabricageproces**. We bedoelen dan de totale opeenvolging van handelingen en bewerkingen, die de grondstoffen of beginproducten ondergaan tot het eindproduct verkregen is.

We kunnen het proces uiteenrafelen in verschillende onderdelen, waarbij **elk onderdeel** kan gezien worden als een **zelfstandig proces**. Dat geldt ook als het product geen werkelijke verandering ondergaan heeft, maar als het gewoon constant gehouden wordt.

Voorbeelden:

- Bepaalde druk in een gasleiding constant houden
- Vloeistof op bepaald niveau houden
- Temperatuur constant houden

In de regeltechniek is dus één zo'n onderdeel een proces.

De juiste omschrijving van een proces is soms gemakkelijk:

- Druk
- Vloeistofniveau
- Temperatuur

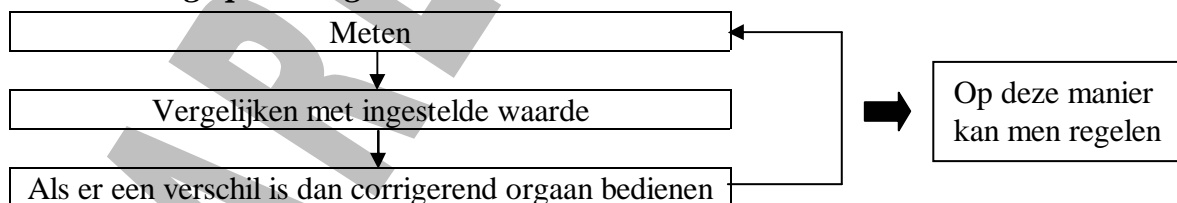
Soms ook moeilijk, maar altijd noemen we:

- **Het ding**, waaraan geregeld wordt (leiding, vat, oven)
- **De toestand**, die geregeld wordt (druk, temperatuur, hoeveelheid)
- **Datgene**, waarmee geregeld wordt (reduceerventiel, afvoerventiel, gasvlam, toevoeging van een andere stof)

Het regeltechnisch begrip proces is altijd onderdeel van de regelkring.

5. Wat is bij de douche-installatie het proces? Wijs in de regelkring van **fig. 2** het onderdeel proces aan en schrijf het woord proces erbij.

1.5 Het begrip storing



Als men deze methode herhaalt dan komt men in een **rusttoestand**. De verstoring van de rusttoestand noemen we een **storing**. Deze storing is meestal te wijten aan een verandering in toestand van de toevoer van een productstroom. Deze storing wordt dan terug weggewerkt door de **regelaar**.

6. Wat kan bij de douche de storing zijn?

1.6 Belangrijke begrippen

Bij het automatisch regelen komen begrippen ter sprake zoals:

- Proces
- Storing
- Meetorgaan
- Vergelijkend orgaan
- Regelorgaan
- Corrigerend orgaan



1.7 Nogmaals de regelkring

In fig. 3 is nogmaals een regelkring weergegeven. Rechts ziet u het **meetpunt**. Dat is het punt in het proces waar gemeten wordt. Op dat punt is dus het **meetorgaan** aangebracht.

7. Noem enige u bekende meetorganen.
8. Wat was bij de douche het corrigerend orgaan?
9. Kunt u één of meer corrigerende organen noemen?
10. Waaruit bestaat een regelaar?
11. Wat is de functie van een regelaar?

De vraag "hoe werkt nu precies een regelaar?" is op dit moment nog niet te beantwoorden.

Belangrijk is nu:

- Waaruit bestaat een regelaar
- Wat is de functie van een regelaar

Fig. 4 lijkt erg op fig. 3 maar, het corrigerend orgaan beïnvloed niet het proces zelf, maar de nevenstroom beïnvloed het proces.

12. Plaats in fig. 4 de woorden proces, meetpunt, regelaar, corrigerend orgaan, vergelijkend orgaan en regelorgaan.
13. Wat is het gevolg voor de regeling, wanneer het meetpunt nog verder stroomafwaarts wordt geplaatst.
14. Is fig. 4 met de douche te vergelijken? Zo ja, wat is dan het warme en wat is het koude water?

Uit fig. 3 en 4 blijkt ook dat de plaatsing van de onderdelen in de regelkring van belang is. Als de hoofdstroom van fig. 4 andersom was, dan is er van controle van het eindproduct geen sprake.

In fig. 3 en 4 moeten we stroomopwaarts gaan, om van het meetpunt naar het corrigerend orgaan te komen.

- **Stroomopwaartse regelingen**

Het omgekeerde komt ook voor, zoals in fig. 5.

- **Stroomafwaartse regelingen**

Het kan nu ook voorkomen dat de beide gecombineerd worden zoals in **fig. 6**. Dit schema stelt de regeling van een vloeistofdoorstroming voor, m.a.w. hoeveelheid per tijdseenheid.

De afstand die de vloeistof aflegt tussen meetpunt en het corrigerend orgaan zal een zekere tijd duren. Men spreekt hier van **dode tijd**. Deze laatste is negatief voor de juiste regeling van het proces en moet **zoveel mogelijk beperkt** worden.

Stroomopwaartse regeling: corrigerend orgaan stroomopwaarts t.o.v. meetpunt.

Stroomafwaartse regeling: corrigerend orgaan stroomafwaarts t.o.v. meetpunt.

1.8 Normalisering van begrippen

Bestuderen van meet- en regeltechniek was in het begin zo moeilijk door de verscheidenheid aan begrippen in verschillende talen.

Voorbeeld:

ingestelde waarde, setpoint, zollwert, grenswaarde, afgestelde waarde, stelpunt, enz...

Nederlandse normalisatie

NEN 3009 (Nomenclatuur en definities in de techniek van het automatisch regelen)

In de praktijk worden de verschillende talen door elkaar gebruikt. Het belangrijkste is dat men **aanvoelt** wat de begrippen willen zeggen.

15. Wat is het verschil tussen de begrippen "ingestelde waarde" en "gewenste waarde"?
Waarom hoeven de waarden van deze begrippen niet altijd aan elkaar gelijk te zijn?

1.9 Manuele niveauregeling

In **fig. 7** ziet u een niveau regeling.

De man moet het niveau constant houden d.m.v.:

- Het niveau af te lezen, dat is het **meten**.
- Het gemeten niveau **vergelijken** met de ingestelde waarde.
- Het resultaat van de vergelijking beoordelen en bij een afwijking, zijn hand opdracht geven handelend op te treden (**corrigeren**). Wanneer er geen afwijking is tussen de gemeten waarde en ingestelde waarde, mag er niet ingegrepen worden.

De man is hier de **regelaar**.

16. Is er in **fig. 7** sprake van een toevoer- of afvoerregeling en/of van een stroomopwaartse of stroomafwaartse regeling? Verklaar u antwoord.
17. Beschrijf stap voor stap wat de man bij een storing – die een te laag vloeistofniveau tot gevolg zal hebben – zal doen, wanneer er sprake zou zijn van een handregeling in de toevoer.
18. Wat is het verschil tussen een regelaar en een regelorgaan?
19. Wat is het verschil tussen een processtoring en een machinestoring?

1.10 Automatische mechanische niveauregeling

Een automatische regelaar moet nu juist hetzelfde doen als de man. In fig. 8 is zo'n regeling weergegeven.

20. Hoe kan het gewenste niveau van de vloeistof in het reservoir worden ingesteld?
21. Waaruit bestaat het proces?
22. Waardoor kan het proces verstoord worden?
23. Wat is het meetorgaan?
24. Wat is het vergelijkingsorgaan?
25. Wat is het regelorgaan?
26. Wat is het corrigerend orgaan?
27. Waaruit bestaat de regelaar?
28. Is er in fig. 8 sprake van een toevoer- of afvoerregeling?
29. Is er in fig. 8 sprake van een stroomopwaartse of stroomafwaartse regeling?
30. Als de verhouding C-D in fig. 8 veranderd wordt, wat voor een gevolg heeft dit dan ten aanzien van het niveau?

1.11 Voorbeeld proces

In fig. 9 is een proces getekend dat bestaat uit het mengen van koud met heet water.

31. Wat is in fig. 9 de te regelen grootheid?
32. Waarom moet in fig. 9 het meetorgaan op enige afstand van het mengpunt worden geplaatst?
33. Waardoor kunnen in dit proces storingen optreden?
34. Waarvan is de hoeveelheid koud water dat door de regelklep wordt doorgelaten afhankelijk?

In fig. 9 worden drie nieuwe termen genoemd:

- Een omvormer/zender
- Dode tijd
- Versterking

1.12 Dode tijd

Afstand tussen **mengpunt** en **meetorgaan** is in het proces van fig. 9 noodzakelijk.

Als er een storing optreedt in de toevoer zal deze ook een dode tijd hebben en dit beïnvloed de meting negatief.

1.13 Besluit

Fig. 9 lijkt al sterk op een echt **blokschema**. We kunnen reeds vernoemen dat met het blokschema, het **P&I schema** wordt opgezet (Proces & Instrument)

In het P&I schema wordt aangegeven welke soorten instrumenten we in de regelkring toepassen. Vanuit het P&I schema wordt het **installatieschema** gemaakt.

Dit is alles voor later.

2. Schematechniek

2.1 Het blokschema

Bekijkt men de niveauregeling van fig. 8, dan kan men de regelkring als volgt omschrijven:

Treed er in het proces een storing op, dan zal het meetorgaan dat vaststellen, het vergelijkend orgaan vergelijkt de uitkomst met de ingestelde waarde en het regelorgaan geeft het corrigerend orgaan opdracht in het proces in te grijpen. Deze kringloop wordt continu doorlopen tot er een evenwichtssituatie is (dus de storing weggewerkt is).

In fig. 10 ziet men een niet genormaliseerd blokschema van deze regelkring.

35. Wanneer is de regelkring van fig. 8 in evenwicht?

Het is niet gebruikelijk om het blokschema te tekenen zoals in fig. 10 is gedaan. In fig. 11 is het blokschema hertekend, maar dan meer in overeenstemming met wat in de meet- en regeltechniek gebruikelijk is.

De dikke procesleiding in fig. 11 is getekend om het schema te verduidelijken. Normaal wordt deze procesleiding niet getekend en komt men tot fig. 12.

2.2 Het P&I schema

Stel dat men bij de niveauregeling van fig. 8 ook de **temperatuur** in het vat wil constant houden, dan zal men dit kunnen voorstellen zoals in fig. 13. Dit productieproces bestaat dus uit twee regelprocessen.

De warmtewisselaar in fig. 13 is uitgerust met een **condensatiepot**. Een detailschema van dit instrument ziet u in fig. 14.

36. Beschrijf zelf de principiële werking van de condensatiepot.

Als men nu aanneemt dat een bepaalde productieproces uit een honderdtal regelprocessen bestaat, dan is het duidelijk dat men de schema's niet zoals in fig. 13 kan blijven tekenen. Men zal in dit geval gebruik maken van het P&I schema.

Het P&I schema (Proces & Instrumentatie schema) geeft uitsluitend de installatie weer van het productieproces met de gebruikte meet- en regelinstrumenten. Het proces staat centraal. De gebruikte symbolen voor de meet- en regelinstrumenten zijn heel eenvoudig.

Ieder instrument wordt door een cirkel met een diameter van ongeveer 10 mm weergegeven met daarin letters en andere coderingen geplaatst, die aangeven welke functie het instrument vervult, waar het instrument zich bevindt, enz.... Beschouwen we terug de niveauregeling dan hebben we in fig. 15 slechts één instrument getekend, waarin de letters L en C zijn geplaatst. De betekenis van die letters is:

- L = level (niveau)
- C = controller (regelaar)

In verband met de lettercodes kan men het volgende stellen:

- de **eerste letter** geeft altijd de **grootheid** aan, waarop het instrument betrekking heeft
- de **tweede letter** geeft de **functie** van het instrument aan

37. Geef met behulp van de tabellen in uw bijlage de betekenis van volgende lettercoderingen:

TIC	(Temperature Indicating Controller)
PRC	(Pressure Recording Controller)
FRCA	(Flow Recording Controller Alarm)
TT	(Temperature Transmitter)
PdI	(Pressure differential Indicator)
LRC	(Level Recording Controller)
FICA	(Flow Indicating Controller Alarm)
TC	(Temperature Controller)
TIT	(Temperature Indicating Transmitter)

In **fig. 16** is een P&I schema getekend, waarin twee grootheden automatisch worden geregeld.

38. Ga na wat de betekenis is van de genummerde instrumenten van **fig. 16**.
39. Hoeveel processen kunt u in dit schema ontdekken en welke grootheden worden er geregeld.
40. Plaats pijltjes voor het verloop van de signalen en laat zien, dat er telkens sprake is van een kringloop.
41. Teken voor de regelkringen de blokschema's.

In **fig. 17** is het P&I schema van een stookinstallatie weergegeven. In de stookinstallatie moet water worden opgewarmd van 20 °C tot een temperatuur van 90 °C.

Op **meetpunt 1** is een instrument geplaatst. Buiten het symbool voor dit instrument is een **H** en een **L** geschreven. In de cirkel is de letter **A** geschreven, waarop de letter **H** en de letter **L** betrekking hebben.

De **A** geeft aan dat een **alarmering** is aangebracht. De **H** slaat op de alarmering voor te hoge waarde, in dit geval een **te hoge** temperatuur. De **L** betekent, dat een alarmering bij een **te lage** temperatuur in werking treedt.

De temperatuur van het water wordt geregeld door middel van een brandstoftoevoerregeling naar de brander, waardoor de vlamgrootte gevarieerd wordt.

42. Welke instrumenten gebruikt men hier?
43. Omschrijf kort de principiële werking van de installatie.
44. Als de stuursignalen zouden wegvallen, welke klep zou u dan in verband met de veiligheid kiezen. Een klep die zich automatisch sluit of opent en waarom?
45. Wat betekent de horizontale streep in instrument 5?
46. Wat is het proces in deze regelkring?
47. Op welke manieren kan een alarmering kenbaar gemaakt worden aan de omgeving?

In **fig. 18** is terug een stookinstallatie weergegeven waar men nu een flow-regeling opgenomen heeft. Onder **flow** of stroming (debiet) wordt verstaan, de hoeveelheid vloeistof (of gas), die per tijdseenheid een bepaald punt (het meetpunt) passeert.

Deze grootheid kan bijvoorbeeld zijn weergegeven in m³/uur, m³/min of l/s.

Verwar deze grootheid niet met **flow quantity**, want dit betekent een bepaalde hoeveelheid zonder dat er van een bepaalde tijd sprake is.

Men heeft ook nog **flowrate**, waaronder men verstaat de stroomsnelheid in m/s.

48. Plaats in de flow-regeling een alarmering voor een te lage flow.
49. Welke klep zou u hier kiezen in verband met veiligheid? Een klep die opent, wanneer de stuurdruk weg valt of een klep die sluit, wanneer de stuurdruk wegvalt.
50. Benoem de gebruikte instrumenten.
51. Wat is in deze regelkring het proces?
52. Wat is het verschil of zijn de verschillen tussen het proces dat behandeld is in **fig. 17** en dit proces?
53. Wanneer u op een brug staat, die over een rivier is gelegen en u kijkt naar het stromende water, legt u dan eens uit wat u verstaat onder flow, flowrate en flowquantity.

Voor een optimale verbranding van de olie is er een bepaalde mengverhouding nodig tussen olie en lucht. In **fig. 19** is de regelkring getekend voor de juiste hoeveelheid lucht bij iedere willekeurige oliestroom.

54. Beschrijf het proces.
55. Benoem de gebruikte instrumenten.
56. Als het stuursignaal zou wegvallen, wat voor een soort klep zou u dan verkiezen, een veersluitende of een veeropenende klep? Verklaar uw keuze.

In **fig. 19** zijn 3 regelkringen opgenomen. Er zijn fabrieksinstallaties, waarin over de 100 regelkringen aanwezig kunnen zijn. In een P&I-schema van dergelijke installaties zou dit betekenen dat het een onoverzichtelijke toestand zou worden. Het is dan zeer moeilijk vast te stellen welk instrument tot welke bepaalde regelkring behoort, vooral als een regelkring ook nog uit een tiental instrumenten bestaat.

Om deze problemen te voorkomen, geeft men elke regelkring een nummer. Elk instrument, dat tot één en dezelfde regelkring behoort, krijgt het nummer van die regelkring. Tenslotte geeft men de instrumenten behorende tot dezelfde regelkring nog een volgnummer.

In **fig. 20** is dit principe al voor twee regelkringen toegepast.

57. Kodeer in **fig. 20** de nog ongekodeerde regelkring.

In fig. 21 is een gedeelte van een stoominstallatie weergegeven. Vanuit de stoomketel wordt de stoom afgenomen. Van de stoomafname wordt de druk geregeld door middel van de getekende drukregeling. De afgewerkte stoom uit de stoommachines en werktuigen in de fabriek worden in een condensor gecondenseerd en via een voorraadtank en voorverwarmers als voedingswater met een pomp weer terug gepompt in de stoomketel. Om het water zo goed mogelijk te verhitten en in stoom om te zetten en de vuurhaardpijpen tegen oververhitting te beschermen, wordt het ketelwater met behulp van een circulatiepomp door de vuurhaardpijpen gepompt. Deze pijpen staan aan de volle hitte in de vuurhaard bloot. De circulatie van het ketelwater mag beslist nooit stoppen, omdat anders de hitte de pijpen onherroepelijk zal doen doorbranden. Normaal staat de elektrisch gedreven pomp bij. Mocht deze pomp onverhoopt stagneren dan is er nog een door stoom gedreven reservepomp, die automatisch zal inschakelen. Deze pomp kan dan de circulatie in stand houden.

Een drukverschilmeter (PdIT) meet de druk voor en na de pomp. Is het verschil in druk te gering, dan stuurt de regelaar de stoomklep open, zodat de reservepomp bij komt te staan om weer voor de juiste verschildruk te zorgen.

De **d** in de P&I-aanduiding is een extra toevoeging aan de codering om aan te geven dat het verschil van twee grootheden wordt gemeten. In de symbolenlijst staan er nog enkele van deze toevoegingen.

- | | |
|-----|--|
| 58. | Zoek de betekenis op van de verschillende extra toevoegingen. |
| 59. | Kodeer de instrumenten volgens de cijfercodering. |
| 60. | Geef de betekenis van alle gebruikte symbolen en coderingen. |
| 61. | Hoeveel regelkringen zijn er in de installatie te onderscheiden? |
| 62. | Wat betekent L en LL bij de twee instrumenten van de verschildrukregeling? |
| 63. | Waarom zou men deze instrumenten tweemaal toegepast hebben? |

2.3 Bijzondere aanduidingen

Is de benaming van de te meten grootheid nog niet vastgelegd, dan gebruiken we als beginletter de **X**. Zo kan een **XRC** van alles zijn.

Bijvoorbeeld: een regelaar, die schrijft en bijvoorbeeld een zuurgraad regelt.

Regelmatig komt het – vooral in de chemische industrie – voor, dat de grootheid die gemeten wordt een chemische waarde heeft. Buiten de instrumentcirkel wordt dan vaak bijgeschreven waar de **X** voor staat. In fig. 22 is een voorbeeld gegeven van het regelen van het pH gehalte. De **pH** is een chemische aanduiding van een **zuurgraad** in een stof.

Bij het meten van Q=kwiteit, wordt ook buiten naast de cirkel aangegeven van welke grootheid de kwaliteit wordt gemeten.

In fig. 23 wordt van rookgas de waterstof (H₂), de koolmonoxyde (CO) en het koolzuurgas (CO₂) gemeten. In dergelijke gevallen wordt de codering getekend, zoals in fig. 23 is gedaan.

2.4 Het installatieschema

Naast het P&I-schema, waarin de meet- en regelprocessen zijn aangegeven, wordt er gebruik gemaakt van schema's, waarin is aangegeven wat voor instrumenten zijn aangebracht en hoe de samenhang is. In dit schema, **installatieschema** genoemd, kan men zien uit welke componenten een meet- en regelcircuit wordt opgebouwd.

- **P&I-schema:**
Aangeven van regelkringen als instructie voor de gebruikers en het bedienend personeel. De vaktechnici, die de procesinstrumentatie onderhouden, een inzicht geven in de regelprocessen.
- **Installatieschema:**
Nader uitwerken, bestellen, installeren en onderhouden van de procesinstrumentatie door vaktechnici.

64. Wanneer men een eerste indruk van de regeling van een proces wil hebben, welk schema kan dan het beste geraadpleegd worden?

In fig. 24 vindt u het installatieschema, dat betrekking heeft op de automatische niveauregeling van fig. 15.

65. Vergelijken we de fig. 15 en fig. 24 met elkaar, waardoor wordt het instrument LC in het P&I-schema dan voorgesteld in het installatieschema en zoek deze symbolen op in de bijlage?
66. Wat stelt in fig. 24 de getekende verbinding in dubbele lijnen voor tussen het symbool van de vlotter en de regelklep?
67. Wanneer u in het bezit bent van een P&I-schema kunt u dan het installatieschema tekenen? Verklaar uw antwoord. Zou het andersom wel/ook kunnen?
68. Teken het P&I-schema van een toevoerregeling voor een niveau in een vat, waarbij nog gegeven is, dat het gebruikte instrument het wel mogelijk maakt het niveau af te lezen.
69. Zoek de verschillende soorten aanduidingen, voor leidingen en verbindingen, op in de bijlage.

In fig. 25 is het P&I-schema van een niveauregeling getekend.

70. Is dit een afvoer- of toevoerregeling?
71. Benoem de gebruikte instrumenten.
72. Wat betekent de **H** en waarom zou men dit hier toegepast hebben?

Voor de klep die gebruikt is in fig. 25 kan één van de twee kleppen in fig. 26 (a en b) gekozen worden.

73. Wat is een membraan?
74. Als de persluchtdruk op het membraan van de klep van fig. 26-a daalt, wat gebeurt er dan met de klep-doorlaat?
75. Beantwoord de vorige vraag, maar nu met betrekking tot de regelklep van fig. 26-b.
76. Welke klep zou u voor de toepassing in fig. 25 kiezen, als het vat in geen geval mag overstromen.

Het P&I-schema van fig. 25 is in fig. 27 vervangen door een installatieschema. Hierin kunnen we aflezen met welk type instrumenten gemeten, geregeld en gecorrigeerd wordt.

- | |
|--|
| 77. Teken in fig. 27 de pijl in de klep. |
| 78. Bestudeer fig. 25 en vul fig. 27 aan met een component die ook in fig. 25 is aangegeven. |

De hoogte van het niveau wordt gemeten met behulp van een membraan (zie fig. 28). Bij een laag niveau zal de druk op het membraan lager zijn dan bij een hoog niveau. De beweging van het membraan is het meetsignaal (0 – 100 cm).

Dit signaal wordt in het omvormingsgedeelte van de zender in een **pneumatisch standaard signaal van minimaal 0,2 tot maximaal 1 bar** omgezet. Op de werking van het omvormingsgedeelte komen we later uitvoerig terug.

Is de omvormer één geheel met het meetorgaan, dan wordt dat in het installatieschema aangegeven door het vierkantje van het omvormersymbool aan het meetorgaan te tekenen. In het symbool van de omvormer wordt de grootte aangegeven van het **meetgebied**, dat omgezet wordt in het standaard signaal van 0,2 – 1 bar.

In fig. 27 wordt een stijgend niveau van **0 – 100 cm** in het reservoir, omgezet in een evenredig oplopend signaal van **0,2 – 1 bar**.

Het stuursignaal van de omvormer is in feite de gemeten waarde van het niveau. Dit stuursignaal wordt in de regelaar vergeleken met de ingestelde waarde. De regelaar en trouwens alle omzettende instrumenten, hebben als grondsymbool een vierkantje.

De regelaar stuurt aan de hand van de vergelijking tussen ingestelde waarde en gemeten waarde een signaal naar het corrigerend orgaan.

Het signaal van de regelaar naar het corrigerend orgaan zal ook een waarde hebben, die zal liggen tussen de 0,2 en 1 bar. Dit uitgangssignaal van de regelaar stuurt het membraan, dat voor de bediening van de klep zorgt. Het membraan is een onderdeel van de **klepmotor**.

Voor het omzetten van het meetsignaal en voor het regelen hebben de omvormer en de regelaar een voeding nodig. Bij een elektrische instrumentatie is dat een elektrische voeding en bij een pneumatische uitvoering is er een luchtvoeding. In fig. 27 is er sprake van pneumatische instrumentatie en is de voeding dus lucht.

In de voedingsleidingen is van een verzorgingseenheid, een samengesteld symbool opgenomen zoals in fig. 29.

In fig. 30 is het installatieschema van fig. 27 uitgebreid met een aantal instrumenten:

- Een schrijver
- Een analoge aanwijzer voorzien van een hoog alarm
- Een hand/automatische omschakelmogelijkheid op de regelaar

- | |
|-------------------------------|
| 79. Welke klep is hier nodig? |
|-------------------------------|

Van een **flow-regeling** is in **fig. 31** een P&I schema getekend.

De flow kan op verschillende manieren worden gemeten, maar in dit schema gebeurt de meting met een **meetflens**.

In de procesleiding is een vernauwing aangebracht, waardoor bij stroming voor en na de flens een drukverschil zal optreden. Naarmate de flow groter wordt zal ook het drukverschil groter worden en is daar dan ook een maat voor.

Via de leidinkjes A en B wordt het drukverschil gemeten en door een omvormer in een standaard signaal voor de flow-regeling omgezet.

80. Pas het installatieschema van **fig. 32** aan, aan de voorwaarden die gesteld zijn in **fig. 31**.
81. Wat betekenen in het installatieschema de streepjes in een aantal signaal-leidingen?
82. Teken in het P&I schema van **fig. 31** een voorziening voor "hoog alarm" voor een te grote flow. Breng deze wijziging vervolgens ook in **fig. 32** aan.
83. Waarom is voor de regelklep een omvormer toegepast?
84. Teken het symbool van de regelklep, wanneer er na de regelaar geen omvormer zou zijn toegepast.
85. Hoe groot is het meetgebied?

In het verdere verloop van de cursus komen vanzelf verschillende andere symbolen, die in de installatietechniek gebruikt worden, aan bod. Dat gebeurt telkens, wanneer een instrument besproken is.

3. Regelingen

- Aan-uit regeling: thermostaat van een elektrische boiler.
- Analoge meting: digitaal uurwerk met uren, minuten en seconden
- Digitale meting: pijlglas van een vat met vloeistof

Bekijken we even **fig. 33** dan zien we beide metingen van een zelfde grootte, namelijk niveau.

86. In welk gebied regelt de regelaar het lekwater?
87. Kunnen we dit gebied verkleinen? Zoja, hoe dan?

In **fig. 34** bekijken we een aan-uit regeling van een niveau meting d.m.v. een **vlotter of drijver**.

88. Geef in **fig. 34** het gebied aan waarin het niveau wordt geregeld.
89. Hoe kan dit regelgebied worden verkleind?
90. Als het regelgebied verkleind wordt, zal de pomp dan vaker of minder vaak ingeschakeld worden? Wordt de regeling dan sneller of trager?
91. Wat moeten we doen als we het regelgebied zouden willen verplaatsen?

De toepassingen van aan-uit regelingen zijn legio. Zodra we te maken krijgen met thermostaten, pressostaten, tijdsfuncties e.d. is er sprake van een aan-uit regeling.

Voorbeelden van aan-uit regelingen:

- Verwarming door middel van een thermostaat.
- Drukregeling door middel van een pressostaat, die een compressor schakelt op een luchttank.
- Regeling van een reclamebord door middel van een dag- en nachtklok.

92. Geef zelf nog drie andere voorbeelden van een aan-uit regeling.

De toepassingsmogelijkheden van aan-uit regelingen zijn niet onbeperkt. Er kleven aan een dergelijke regeling teveel nadelen, wanneer de aan-uit schakelingen elkaar in een te snel tempo opvolgen. Deze te snelle regeling zal als gevolg hebben dat gaskleppen, pompen, vloeistofkleppen, enz... heel snel zullen verslijten. Men zal dus bij regelprocessen, waar veel verschillende storingen snel na elkaar optreden, moeten gebruik maken van andere regelingen.

3.1 Proportioneel regelen

Wanneer bij een min of meer constante toevoer, het niveau in een reservoir moet geregeld worden, dan zal een regeling zoals in **fig. 35** beter voldoen.

Het opvallende bij deze regeling is, dat bij een verandering van het ingangssignaal, het uitgangssignaal naar het corrigerend orgaan evenredig mee verandert.

93. Teken het grafisch verloop van de volgende functie als men het ingangssignaal laat varieëren tussen -1 cm en $+1 \text{ cm}$ in stappen van 1 mm .
uitgangssignaal = f(ingangssignaal)

Voor het woord **evenredig** kan ook het woord **proportioneel** worden gebruikt. Het zal u nu duidelijk zijn, dat in de meet- en regeltechniek, de regeling weergegeven in fig. 35 een **proportionele regeling** wordt genoemd.

94. Wanneer u in fig. 35 de lengte van **A** gaat verstellen (groter of kleiner maken) is er dan nog wel sprake van een proportionele regeling?
95. Is er ook nog sprake van proportionele regeling, wanneer de hefboomverhoudingen door verplaatsing van het draaipunt veranderd worden?

3.2 Grafische voorstellingen

In fig. 36 is een lineaire functie $y=f(x)$ weergegeven (zie proportionele regeling).

In fig. 37 is een niet-lineaire functie $y=f(x)$ weergegeven.

96. Teken de volgende functies:
 $y=2x - 1$
 $y=-3x +2$
 $y=3x$
 $y=-2x$
 $y=1/x$
 $y=x-2-x$

4. Proportioneel regelen

Waarom moet een regelaar ook al weer voldoen?

- De regelaar **moet kunnen waarnemen** waar het niveau in het vat zich bevindt, m.a.w. er moet een meetorgaan zijn.
- De regelaar **moet opdracht hebben** gehad op welke hoogte het niveau gehouden moet worden, m.a.w. hij moet ingesteld worden aan de hand van de gewenste waarde.
- De regelaar **moet in staat zijn in te grijpen** wanneer de waarneming niet overeenkomt met zijn opdracht, m.a.w. een corrigerend orgaan moet worden gestuurd, wanneer gemeten en ingestelde waarde niet gelijk zijn.
- De regelaar **mag niet ingrijpen** wanneer de waarneming klopt met de opdracht, m.a.w. wanneer gemeten waarde = ingestelde waarde, mag het corrigerend orgaan niet versteld worden.
- De regelaar **moet zodanig ingrijpen**, dat de storing zo goed mogelijk wordt opgegeven.

4.1 Statische afwijking

Bekijken we nog eens de niveau regeling van **fig. 35** dan kunnen we het volgende stellen:

Toevoer (l/u)	Afvoer (l/u)	Toestand
400	400	Regelstang is in rust
450	400	Het toevoerdebiet stijgt, in eerste instantie zal het afvoerdebiet blijven, dus zal het niveau stijgen
450	400 naar 450	De vlotter gaat omhoog, de klep gaat open, het afvoerdebiet stijgt tot hetzelfde debiet als de toevoer
450	450	Nieuw evenwicht, maar de hoogte H is gestegen.

Als besluit kunnen we stellen dat deze regelaar wel regelt, maar dat de oorspronkelijke opdracht om een **hoogte H** te handhaven niet gelukt is. Er is namelijk een afwijking nodig om 450 l/u af te kunnen voeren. Deze afwijking zal blijven bestaan zolang er 450 l/u inkomt en er 450 l/u uitgaat. Daarom noemt men dit de **statische afwijking (Static off-set)**.

4.2 Dynamische afwijking

Men spreekt van dynamische afwijking (Dynamic off-set), wanneer de afwijking minder is dan de vloeistofstroomverandering zou doen verwachten. We blijven dus dicht in de buurt van de oorspronkelijke hoogte H dan bij de statische afwijking. We komen daar later op terug.

4.3 Proportionele regelaar

Bij dit soort regelaar is de statische afwijking soms positief, soms negatief ten opzichte van de oorspronkelijke opdracht (gewenste waarde). Dit hangt namelijk af van de toevoer. De grootte van de statische afwijking is dan afhankelijk van de grootte van de storing.

We hebben nu een proportionele regelaar, die weliswaar snel regelt, maar ook steeds afwijkingen blijft vertonen. Deze afwijking kan men verkleinen door de versterking van de regelaar te vergroten.

97. Teken hoe u **fig. 35** zou aanpassen om een grotere versterking te krijgen en bespreek dan waarom door deze ingreep de statische afwijking zal verkleinen.

Voor **fig. 35** kan men de versterking van de **mechanische** regelaar als volgt bepalen:

Versterking van de regelaar = Afgelegde weg klep / Afgelegde weg vlotter

Bij elektrische en pneumatische regelsystemen gaat het in feite om de versterking van de signalen.

Versterking van de regelaar = Signaal naar corrigerend orgaan / meetsignaal

4.4 Grafische weergave versterking

Het hierna volgende kunt u als inleiding beschouwen op het in de meet- en regeltechniek bijzonder belangrijke begrip **Proportionele Band (PB)**. Vrijwel iedere regelaar heeft een verstelbare PB, terwijl ook omvormers en regelkleppen voorzien kunnen zijn van een inrichting, waarin de functie van de PB een rol speelt, die dikwijls kunnen worden versteld. Voor we de PB nader bespreken gaan we nu eerst even kijken naar de grafische weergave van de versterking.

In **fig. 38** zien we de grafische weergave van de versterking van een mechanische niveauregeling.

- Als het niveau groter wordt dan **HOOG** dan zal de klep niet verder kunnen openen.
- Als het niveau kleiner wordt dan **LAAG** dan zal de klep niet verder kunnen sluiten.

98. Stel de vlotter staat precies in het midden tussen LAAG en HOOG. Laat dan in de grafiek zien waar de klep staat.
99. Stel de vlotter staat op LAAG en gaat vervolgens 1 cm stijgen. Laat dan grafisch zien hoeveel de klep open gaat.
100. Is het bij deze regeling zo, dat wanneer de vlotter 1 cm stijgt, ook de klep altijd 1 cm stijgt? Hoe groot is de versterking?
101. Hoe heet deze regeling en waarom?

In **fig. 39** en **fig. 40** ziet men een licht gewijzigde grafieken.

102. Hoe groot is de versterking in deze twee grafieken?
103. Geef op de grafieken aan op welke niveauwaarde de regelaars zijn ingesteld.

Bekijk de grafiek in **fig. 41** en los dan volgende vragen op.

104. Stel dat het niveau in het reservoir nog hoger wordt dan HOOG, bvb. tot "Reservoir vol". Geef aan hoe de versterkingslijn verloopt voorbij punt 3.
105. Wanneer wordt punt 4 bereikt? Verklaar uw antwoord?
106. Stel dat er in het reservoir door welke oorzaak dan ook helemaal geen vloeistof meer aanwezig is, geef dan aan hoe de versterkingslijn verloopt nog voor punt 1.
107. Zal het niveau met dit regelsysteem beneden het punt LAAG kunnen komen?
108. Bedenk een aantal redenen, waardoor het niveau in het reservoir toch beneden het punt LAAG kan komen.
109. Hoe noemt men in de meet- en regeltechniek het gebied, dat van het punt LAAG tot aan het punt HOOG loopt?

110. Wat zal van de regelaar uitgebeeld door fig. 41 het regelgebied zijn? Heeft u ook een idee wat het meetgebied is?

Wanneer men de versterkingfactor van de regelaar wil veranderen, dan heeft dit altijd tot gevolg dat ook het regelgebied verandert.

111. Als de versterkingsfactor groter wordt, dan wordt het regelgebied (groter/kleiner)?

Aan deze regelaar kleven een paar bijzondere eigenschappen. Want de klep-regelaar-vlotter vormen één geheel. Wordt namelijk aan één van de drie onderdelen iets veranderd, dan beïnvloedt dat rechtstreeks de overige twee in hun werking.

Zo verandert bij de vlotterregeling altijd het **meetgebied** bij een verandering van de **versterking**, terwijl de verandering van de **versterking** vrijwel altijd uitsluitend tot doel heeft, dat het **regelgebied** wordt veranderd.

Is er sprake van een regeling met toepassing van een **zender** voor het omvormen van het meetsignaal dan is het meetgebied onafhankelijk geworden van de regelaar. Meetorgaan en zender bepalen dan het meetgebied. Het regelgebied wordt dan ingesteld met de regelaar. Meetorgaan, zender en regelaar hebben op deze wijze hun eigen onderling onafhankelijke functie, hetgeen bij de vlotterregeling niet het geval is.

4.5 De PB of Proportionele Band

De proportionele band is het gedeelte – meestal in procenten uitgedrukt – van het meetgebied, waarin geregeld wordt.

$$PB = (\text{Regelgebied} / \text{Meetgebied}) \times 100\%$$

Bekijkt men **fig. 42** dan merkt men twee zaken op:

- men heeft een maximaal meetbereik van **0-240 cm**
- het regelgebied is een deel van het meetgebied, namelijk **60-120 cm**

112. Wanneer u **fig. 42** bekijkt is het alsof de lichthoogte van de klep 200 cm is, dat is natuurlijk waanzin. Kunt u dit even verklaren?

113. Hoeveel bedraagt de versterking?

114. Hoeveel bedraagt de PB?

115. Als de versterking = 1 hoeveel bedraagt dan de PB?

4.6 Signalen

De mechanische regelaar wordt zelden toegepast. Het zijn meestal regelsystemen met zenders, die meetsignalen omzetten in pneumatische of elektrische signalen, die vervolgens weer door de regelaar enz. verwerkt worden. Waar het in meet- en regeltechniek dan ook in belangrijke mate om gaat zijn de signalen. Die signalen vertegenwoordigen ook iets. Bij **pneumatische regelingen** wordt vrijwel altijd gebruik gemaakt van de standaardsignalen, die variëren van **0,2 bar tot 1 bar**.

Bekijk fig. 43 en beantwoord dan de volgende vragen:

116. Wat vertegenwoordigt het signaal van 0,2 – 1 bar dat komt van de zender?
117. Als het meetsignaal 0,6 bar is, hoe hoog is dan het vloeistofniveau in het reservoir?
118. Wordt het uitgangssignaal van de regelaar op de verticale of op de horizontale as van de grafiek geplaatst?
119. Wat betekent een uitgangssignaal van 0,6 bar van de regelaar in vrijwel alle gevallen voor de klepstand van de regelklep?
120. Wat kunt u in fig.42 het beste op de assen afzetten i.p.v. de aanduiding van "cm niveauhoogte en cm lichthoogte klep" en waarom?

Zetten we fig. 42 om met signalen dan krijgen we fig. 44.

Algemeen krijgen we dan de volgende formules:

$$\begin{aligned}
 \text{Versterking} &= \text{Uitgangssignaalvariatie regelaar} / \text{Ingangssignaalvariatie regelaar} \\
 &= (1 \text{ bar} - 0,2 \text{ bar}) / (0,6 \text{ bar} - 0,4 \text{ bar}) \\
 &= 0,8 / 0,2 \\
 &= 4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{PB} &= (\text{Regelgebied} / \text{Meetgebied}) \times 100\% \\
 &= (0,2 / 0,8) \times 100\% \\
 &= 25\%
 \end{aligned}$$

Tot slot merken we op dat versterking en PB elkaars omgekeerde zijn

$$\text{Versterking} = 1 / \text{PB} \quad \text{of} \quad \text{PB} = 1 / \text{Versterking}$$

In de moderne meet- en regeltechniek gebruikt men de volgende standaardsignalen

PNEUMATISCH	ELEKTRONISCH	
1) 0,2 – 1 bar	1) 0 – 20 mA	} ————— Europa
2) 3 – 15 psi	2) 4 – 20 mA	
3) 20 – 100 kPa	3) 0 – 50 mA	} ————— Amerika
	4) 10 – 50 mA	

Buiten de genoemde standaardsignalen om, wordt er momenteel ook gewerkt met spanningssturing. Zowel gelijkspannings (bv. 0 – 5 en 0 – 10 Volt) als wisselspannings-sturing (met een bepaalde frequentie) wordt hierbij gebruikt, waarbij het nog steeds niet tot een afspraak van standaardisering is gekomen.

Dit zit hem in het feit, dat spanningssturing weinig wordt toegepast vanwege het spanningsverlies dat optreedt in leidingen. Hierdoor kan de nauwkeurigheid van bv. opnemers afnemen en daarmee van het hele regelsysteem.

4.7 Voorbeeld omgekeerd werkende regelaar

In fig. 45 is het installatieschema weergegeven van een pneumatische niveauregeling.

121. Teken het P&I-schema.
122. Geef in kleur de kringloop van de meet- en regelsignalen aan.
123. Wat betekent de pijl in het corrigerende orgaan? Betekent dat nu, dat het corrigerend orgaan opent of sluit bij oplopend bedieningssignaal?
124. Teken in de grafiek van fig. 46:
 - De schaal voor het meetgebied zowel in cm niveauhoogte als in standaardsignalen
 - De schaal voor de bedieningssignalen met daarbij vermeld de uiterste standen van de klep
 - Wanneer gegeven is, dat de ingestelde waarde 1,5 meter is en de PB 100% is, de grafische lijn voor de versterking.
125. Wat valt u bij de loop van de grafische lijn op en wat is daarvan de betekenis?
126. Kunt u nu ook het pijltje in het symbool van de regelaar verklaren?
127. Geef in de grafiek het regelgebied aan en laat d.m.v. een stippellijn zien hoe ver de regelklep open staat, wanneer gemeten en ingestelde waarde precies met 1,5 meter overeen komen.
128. Wat moet er onder afwijking worden verstaan en waarom zal de hier afgebeelde regeling zelden een niveau tot stand brengen die gelijk is aan de ingestelde waarde?
129. Wanneer we de afwijking kleiner zouden willen hebben, hoe kunt u dat dan bereiken?
130. Hoe groot wordt het regelgebied, indien u de PB-instelling op de regelaar op 40% zou stellen? Tekent u dat eens met kleur in de grafiek van fig. 46.
131. Teken in de grafiek van fig. 47 de grafische voorstelling, maar nu voor een PB van 30% en een ingestelde waarde van 1,8 meter.
132. Bij welke PB zal de afwijking minimaal zijn? Is een PB van 0% ook mogelijk? Welk nadeel of nadelen kunnen er aan een zéér kleine PB kleven?
133. Teken in fig. 47 in kleur de PB van 40%. De ingestelde waarde ligt op 1,75 meter.
134. Kan de regelklep bij een PB van 60% en een ingestelde waarde van 1,75 meter nog wel sluiten? Zo ja, bij welk meetsignaal gebeurt dat dan? Zo nee, wat is dan de uiterste (sluit)stand van de klep en welke stuurdruk (uitgangssignaal van de regelaar) hoort hierbij?
135. Teken in kleur in dezelfde grafiek de PB van 80% bij een ingestelde waarde van 1,2 meter, wat zijn nu de uiterste klepstanden?
136. Wanneer de ingestelde waarde 1,5 meter zou zijn, bij welke PB zal de regelklep dan nog juist gesloten zijn en nog net vol open staan? Wat kunnen de bezwaren van een grotere PB zijn?

In **fig. 48** is de PB getekend van een regelaar met de verplaatsbare Ingestelde Waarde (IW). Als ingangssignaal van de regelaar gebruikt men een **J-buis manometer**.

In **fig. 49** zijn met de zogenaamde J-buis manometer de verschillende gebieden nog eens aangegeven. Na een productie-omstelling blijkt dat de klep voor het nieuwe proces te snel reageert. De klep moet bij een optredende verstoring van het proces veel minder snel openen en afsluiten. Daarom wordt besloten de **PB op 150%** af te stellen met een **IW op 2000 mm wk (mm waterkolom)**.

137. Geef deze situatie grafisch weer. Teken daarin dun gestippeld ook de **PB van 100%**.
 138. Verklaar, waarom de regelklep niet kan sluiten en ook niet vol open kan komen te staan.
 139. Hoe groot zijn de stuursignalen naar de regelklep in de uiterste standen van de klep?

Wanneer u voorgaande vragen goed hebt beantwoord, kan worden vastgesteld, dat als er als het ware geregeld wordt in een "**venster**", dat begrensd wordt door een **maximum en minimum stand van de klep** en een **maximum en minimum uitgang van de zender**. Het is erg belangrijk dit venster in de grafiek te tekenen, zodat u kunt zien wat u gaat doen, wanneer u in de praktijk een PB of ingestelde waarde van een regelaar gaat veranderen.

4.8 Voorbeeld temperatuurregeling

Bestudeer het **installatieschema** van **fig. 50**.

140. Teken nu het P&I-schema.

Gegeven:

- Meetgebied = 30 – 80 °C (afleesbaar van de zender)
- IW = 70 °C
- PB = 10 %

141. Teken m.b.v. bovenstaande gegevens de versterkingslijn in **fig. 51**.
 142. Tijdens het bedrijf blijkt dat het ingestelde regelbereik te klein is. Wat betekent dit?

4.9 Oscilleren

Wanneer de temperatuur stijgt en de **PB te klein** is, zal de regelaar d.m.v. de klep te sterk ingrijpen. Bij een geringe temperatuurstijging van de procesvloeistof zal de klep bijvoorbeeld door de kleine PB te veel sluiten. De temperatuur daalt daardoor te snel, waardoor de regelaar de klep vervolgens zal open sturen. Maar ook dat gebeurt weer te ver, waardoor de temperatuur te snel toeneemt en de klep weer snel gaat sluiten, enz....

Door dit snel open en dicht sturen van de regelklep gaat de temperatuur schommelen. Dit schommelen staat in de meet- & regeltechniek bekend als "**het oscilleren van het proces**" (ook "**pendelen**" genoemd).

143. Bepaal in **fig. 51** in kleur de maximale PB, die kan worden toegepast, zonder dat de PB buiten het meetgebied valt. De IW blijft op 70 °C liggen.

5. De pneumatische P-regelaar

Tot nog toe heeft u zich steeds bezig gehouden met de functionele werking van de P-regelaar. U weet dat er op de P-regelaar altijd op zijn minst twee instelmogelijkheden zitten, namelijk:

- PB
- IW

Met deze twee instelmogelijkheden wordt de regelaar zodanig aangepast, dat de regelaar optimaal ingrijpt in het proces bij een bepaald verstoringverschijnsel. Om naast de reeds behandelde P-regelaar ook de PD-regelaar (proportionele differentiërende regelaar), de PI-regelaar (Proportioneel integrerende regelaar) en de PID-regelaar goed te kunnen doorgronden, is het een eerste vereiste, dat u de inwendige werking van de pneumatische P-regelaar begrijpt. We zouden dit ook aan de hand van de elektronische of hydraulische P-regelaar kunnen doen. De pneumatische P-regelaar leent zich hiervoor echter het best, omdat hij begrijpelijker overkomt.

U hebt gezien dat de P-regelaar altijd te kampen heeft met een **statische afwijking**. Om deze afwijking weg te werken, zijn er P-regelaars ontworpen, voorzien van een zogenaamde I-werking. Dit zijn de **PI-regelaars**. De I-werking zal er dus voor trachten te zorgen, dat de gemeten waarde na een verstoring weer teruggebracht wordt naar de ingestelde waarde.

Naast de P- en PI-regelaar bestaat er ook een **PD-regelaar**. Dit zijn p-regelaars voorzien van een zogenaamde D-werking. Deze regelaars worden veel toegepast in **traag werkende regelkringen**. Een PD-regelaar is namelijk een regelaar, die bij een verstoring een tijdelijk groter of kleiner uitgangssignaal geeft, dan het uitgangssignaal, dat men kan verwachten bij uitsluitend een P-actie. De regelaar reageert dus sterker dan het op dat moment binnenkomend signaal, omdat de verwachting is, dat de werkelijk gemeten waarde in het proces op datzelfde moment al weer hoger (of lager) is.

5.1 Voorbeeld van een temperatuurregeling

Stel de temperatuur in een ruimte of reservoir is al gedurende een langere tijd precies 22°C . De temperatuur gaat nu **langzaam en regelmatig oplopen** door een verstoring in het proces. Door de vertraging bij het opnemen van de temperatuur en de verwerking van het signaal, reageert de regelaar pas, wanneer de temperatuur bijvoorbeeld al 25°C is en nog steeds oploopt. De regelaar **loopt dus achter** op de werkelijke situatie.

De D-actie zorgt er nu voor dat de regelaar tijdelijk reageert alsof er een signaal overéénkomend met een gemeten temperatuur van bijvoorbeeld 26°C (afhankelijk van de instelling van de D-actie) binnenkomt, terwijl het werkelijk binnenkomende signaal van de regelaar overéénstemt met bijvoorbeeld $22,5^{\circ}\text{C}$. De regelaar hoopt op deze wijze zijn achterstand in informatie, die hij van de werkelijke temperatuur in het proces heeft, weg te werken.

Hij denkt als het ware vooruit, er vanuit gaande, dat wanneer hij het signaal van een verandering binnenkrijgt, die verandering inmiddels al weer veel groter is. Overigens gebeurt hetzelfde bij een dalende temperatuur. Tot slot wordt opgemerkt, dat bij een PD-regelaar wel het probleem van de te late informatie is opgelost, maar weer niet het probleem van de

afwijking. Want na de D-actie blijft de P-actie over en zal de regelaar zijn **afwijking** als een gewone P-regelaar behouden.

U begrijpt, dat de PD-regelaar bij een traag werkende informatie-opdracht alleen goed kan werken als het proces ook **rustig en gestaag** verloopt.

Ten aanzien van de blijvende afwijking bestaan zogenaamde PID-regelaars, waarbij de eigenschappen van de PI-regelaar en de PD-regelaar **gecombineerd** zijn terug te vinden.

144. Wat zullen de eigenschappen van een PID-regelaar zijn?
 145. Noem een voorbeeld van een traag werkende regelkring, waar een regelaar voorzien van een D-actie uitstekend van pas zou komen.

5.2 De pneumatische P-regelaar in het proces

In **fig. 52** is duidelijk te zien, dat de regelaar uit twee hoofdcomponenten bestaat.

- vergelijkend orgaan
- regelorgaan

Deze twee organen zitten beide in wat men de regelaar noemt. Pneumatische regelaars werken vrijwel allen met het zogenaamde **vaan-tuit systeem (flapper-nozzle)**. Het is namelijk een betrouwbaar, nauwkeurig, eenvoudig en goedkoop systeem. In dit systeem is het verstellen van de **IW** en de **PB** eenvoudig en vrij nauwkeurig uit te voeren.

Bekijken we nu dit systeem m.b.v. **fig. 53**.

146. Wat gebeurt er allemaal als $IW = 0,6$ bar en $GW = 0,6$ bar (niveau staat op IW)?
 147. Wat gebeurt er allemaal als $IW = 0,6$ bar en $GW = 0,3$ bar (niveau daalt onder IW)?
 148. Wat gebeurt er allemaal als $IW = 0,6$ bar en $GW = 0,9$ bar (niveau stijgt boven IW)?
 149. Hoe regelt men de IW?
 150. Hoe regelt men de PB?

Pneumatische regelaars zijn in het algemeen zo geconstrueerd, dat wanneer de **tuit ongeveer in het midden van de vaan** staat, de **PB 100 %** is.

5.3 Vaan-tuit systeem

Bekijken we nu eens de werking van het vaan-tuit systeem meer gedetailleerd in **fig. 54**.

Om nu een **lineair verband** te hebben tussen tuitopening H en NBP (Nozzle Back Pressure) gebruiken we maar een heel klein stukje van de grafiek in **fig. 55**.

- Tuitopening: 0,078 – 0,093 mm
- NBP: 0,21 – 0,28 bar

De vaan-tuitbeweging bedraagt dus ongeveer **0,015 mm** en komt overeen met NBP-variantie van **0,07 bar**.

5.4 Luchtrelais

Deze druk-variatie is te klein om een klep te besturen dus moet deze druk versterkt worden. Voor deze versterking van het NBP signaal gebruiken we het **luchtrelais**. Het verband tussen NBP en uitgangsdruk naar de klep toe is getekend in **fig. 56**.

151. Als men een NBP heeft van 0,255 bar hoeveel bedraagt dan de uitgangsdruk van de regelaar?

In **fig. 57** ziet u de schematische voorstelling van een pneumatische regelaar, waar in detail het luchtrelais getekend is.

152. Probeer de werking van deze regelaar principieel uit te leggen.

Als we **fig. 53** nog eens nader bekijken, dan stellen we vast, dat bij te grote GW er beschadiging zal kunnen ontstaan aan de tuit en de vaan.

Om hieraan te verhelpen breiden we de **fig. 53** uit tot **fig. 58**.

Als de gemeten druk te hoog wordt dan zal de **terugkoppelbalg** ervoor zorgen dat de vaan terug verwijderd wordt van de tuit.

5.5 Uitlijnen van de P-regelaar

Een P-regelaar met het vaan/tuit principe is zo gevoelig, dat de uitgang reageert van max. naar min. Bij een vaan/tuit verandering van **0,015 mm**. Dit vereist een zeer nauwkeurige werking van de balgen en de veer, die de vaan moeten verplaatsen. We hebben vroeger geleerd dat er twee belangrijke condities bestaan, waaraan iedere P-regelaar moet voldoen, namelijk:

- I. Als de GW en de IW aan elkaar gelijk zijn, dan moet het uitgangssignaal van de regelaar met een bereik van 0,2 tot 1 bar precies 0,6 bar zijn.
- II. Als de GW en de IW aan elkaar gelijk zijn, dan mag de grootte van het uitgangssignaal niet veranderen als men de PB van instelling verandert.

Nu is het om constructieve redenen bijna onmogelijk om geheel identieke balgen te construeren. Er blijven altijd onderlinge verschillen bestaan betreffende veerkracht, afmetingen, enz..., die hoe gering ook, altijd de nauwkeurigheid beïnvloeden.

Als de druk in de GW-balg en de IW-balg gelijk zijn, dan zal de vaan/tuit afstand precies op de **helft van zijn 0,015 mm gebied** moeten staan om een uitgangssignaal van **0,6 bar** te krijgen. Dit is om eerder genoemde constructieve redenen vrijwel onmogelijk te fabriceren. Daarom heeft men, zoals in **fig. 58** bij de IW-balg en de GW-balg een **instelschroef A** met veer aangebracht om de stand van de vaan bij een afwijking zodanig te corrigeren, dat het uitgangssignaal 0,6 bar wordt, wanneer IW en GW aan elkaar gelijk zijn. Dan pas voldoet de regelaar aan **voorwaarde I**.

Om aan **voorwaarde II** te voldoen, moet de regelaar bij een verandering van de PB en bij een gelijke IW en GW, ook een uitgangssignaal blijven geven van 0,6 bar. Dus als de PB van de regelaar uit **fig. 58** wordt gewijzigd door de tuit omlaag of omhoog te verstellen, dan moet de

vaan/tuit afstand steeds in het midden van het 0,015 mm gebied blijven en mag het uitgangssignaal niet veranderen. Daar dit ook om constructieve redenen moeilijk te verwezenlijken is, moet deze afstand door middel van een tweede **instelschroef B** met veer zodanig gecorrigeerd kunnen worden, zodat de uitgangsdruk van de regelaar bij een PB-verandering steeds op 0,6 bar blijft staan.

Het afstellen van de schroeven A en B om te bereiken dat de regelaar aan de voorwaarden I en II voldoet, noemt men het uitlijnen van de regelaar. Daar de correcties met de instelschroeven elkaar beïnvloeden, moet de voorafgaande afstelling steeds gecontroleerd worden.

6. Besluiten

Zoals u tot nog toe gezien hebt, is meet-en regeltechniek een specialisatie waar met **heel veel** details moet rekening gehouden worden.

Daar wij beperkt zijn in tijd lijkt het mij interessant om de overblijvende weken te wijden aan het werken met een programma die ons in staat stelt om regelprocessen in beperkte mate te simuleren. Aan de hand van de **oefeningen in bijlage** probeer ik u dan te laten verstaan wat de specifieke begrippen van P-, PI-, PD- en PID-regelaars willen zeggen.