

Meet- en Regeltech- niek

Versie: 23 maart 2007

COPYRIGHT ROVC Technische Opleidingen

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of op enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise without the prior written permission from the publisher.

SECRETARIAAT: ROVC
POSTBUS 117, NL - 6710 BC EDE
TELEFOON: 0318 - 698 698, FAX: 0318 - 698 600
BEZOEK OOK ONZE WEBSITE: WWW.ROVC.NL

Meet- en Regeltechniek

Meet- en Regeltechniek

Inhouds opgave

Voorwoord	9
1 Wat is Meet- en Regeltechniek?	11
Inleiding	13
Gasdrukregeling	14
Basisonderdelen uit de regelkring	16
Blokschema	19
Schemalezen	20
Temperatuurregeling	21
2 P&I Schematechniek	23
Inleiding	25
Het proces- en instrumentatieschema	26
De lettercode bij het P&I-schema	29
Aanvullende codeletters	32
P&I schema van de centrale verwarmingsketel	37
Instrumentatiecodering	41
Bijzondere instrumentatiecoderingen	42
P&I-symboliek voor procescomputers	44
Voorbeeldschema met procescomputersysteem	46
3 Signaaltransport	47
Inleiding	49
Transportmiddelen en verbindingen	50
Elektrische informatie overdracht	54
Elektrische energie	55
Netvoeding	57
De wet van Ohm	59
Variabele weerstanden	61
Praktische toepassing van een weerstand in een temperatuur opnemer	62
Serie- en parallelschakelingen	65
4 Installatie- en aansluitschema's	73
Verschillende schematechnieken	75
Aansluitschema, spannings- en stroomsturing	84
Eindopdracht	97
5 Proportioneel regelen	101
Inleiding	103
Niveauregeling zonder regelaar	104
Simulatiesoftware	107
Niveauregeling met regelaar	109
Simulatie opdrachten	112
Procesverstoringen en offset	113
Afstellen van proportionele regeling	117
Invloed van procescapaciteit op de versterkingsfactor	119
Regelkarakteristiek van de regelaar	121
Invloed van niveauopnemerrange en de doorlaat van de regelklep	126
Toevoerregeling met omgekeerd werkende regelaar	127
Hand- automatisch stand van regelaar	128
Flowregeling	130
Drukregeling	131
6 Regeling met I- en D-functie	133
Inleiding	135
Afstellen van een PI-regeling	141
Regelaar met differentiator of D-actie	143
D-actie bij temperatuurregeling	145
Afstellen van een PID regeling	148
Achtergrond bij P-, I- en D-actie	151
7 Soorten regelingen	159
Inleiding	161
Stroom op- en stroomafwaartse regeling	163
Feed-back en Feed-forward regelingen	166
Cascaderegeling	167
Verhoudingsregeling of Ratio control	171

Split-range regelingen	173
Programmaregelingen	174
Het lezen van P&I-schema's	177
Eindopdracht	180
8 Transmitters	183
Transmitters in het proces	185
Benamingen en functie transmitter	187
Meetgebied, meetbereik, nulpunt van een transmitter	189
Indicators (aanwijzers)	191
Nauwkeurigheid	192
9 Druktransmitters	195
Inleiding	197
Druk	198
Indicators en transmitters	199
Indicators	201
Transmitters	212
10 Niveautransmitters	227
Inleiding	229
Indicators	231
Transmitters	235
11 Flowtransmitters	253
Inleiding	255
Specifieke eisen bij flowmetingen van gasen en stoom	258
Indicators	261
Eindopdracht Flowtransmitters	290
12 Temperatuurtransmitters	293
Inleiding	295
Indicators en transmitters	296
Indicators	297
Transmitters	302
13 Transmitters voor diverse metingen	335
Inleiding	337
Transmitters	338
pH-indicators en transmitters	339
Geleidbaarheidstransmitter	343
Gewicht- of krachtstransmitters	345
Speciale toepassing	347
Eindopdracht	354
14 Corrigerende organen	359
Inleiding	361
Pneumatische regelklep	365
Elektro-pneumatische omvormer	376
Elektro-pneumatische klepstandsteller	377
Diverse kleppen	387
Elektromotor bediende regelklep	396
Pomp als corrigerend orgaan	400
Elektrische verwarmers als corrigerend orgaan	408
15 Procescomputersystemen	411
Inleiding	413
De individuele regelkring als onderdeel van een procescomputersysteem	414
Procescomputersystemen met conventionele signaalverbindingen	418
Gebruik bedieningsstation procescomputersysteem	430
Moderne recorder en data-collectiesystemen	438
Uitgebreid procescomputersysteem met conventionele signaalverwerking	439
Systeem structuur met remote I/O	442
Systeem structuur met digitale veldcomponenten en veldbus	444
Systeemstructuren	447
Procesbeheersing als onderdeel van totale bedrijfsautomatisering	449

Inhouds opgave	16 Schakelende opnemers voor regelingen en beveiligingen	451
	Inleiding	453
	Schakelende opnemers voor procesregelingen	455
	Schakelende opnemers voor procesbeveiligingen	456
	Procesbeveiliging een vakgebied naast meet- en regeltechniek	461
	Uitvoeringsvormen van niveau schakelaars	462
	Uitvoeringsvormen van flowschakelaars	467
	Uitvoeringsvormen van drukschakelaars	468
	Uitvoeringsvormen van temperatuurschakelaars	470
	Index	471
	Kleurenpagina's	1

Voorwoord

Kennis op welk vakgebied dan ook, komt niemand aanwaaien. U bent een mens en geen vat. Wij kunnen de kennis niet in u gieten. Wat u nodig heeft, en waar wij zorg voor dragen, is een optimale leeromgeving waarin u uw kennis zo goed mogelijk ontwikkelt. Tot een optimale leeromgeving behoren: uw docent, een goede sfeer, uw motivatie en vooral ook deze cursusmap.

Doelgericht

Doel van de cursus is uw vakbekwaamheid en uw vermogen om zelfstandig te werken te vergroten. Het gaat erom, dat u de problemen die het vakgebied betreffen, leert herkennen en doorzien. De cursus verschaft u de kennis die u in de praktijk nodig heeft. Theoretische achtergronden worden alleen behandeld wanneer u deze voor een goed begrip van de praktijk nodig heeft. Naast kennis gaat het erom u ongemerkt een logische denkwijze mee te geven, zodat u de problemen op de juiste wijze gaat bekijken, beoordelen en verhelpen. Het gaat dus vooral om het verwerven van inzicht.

Leren = doen

De cursus is erop gericht dat u aan het werk gaat en leert zelf vraagstukken op te lossen. Vooral door veel te oefenen en veel na te denken, maar ook door fouten te maken. Want iemand die wijzer wil worden, leert ook door fouten te maken. In uw dagelijkse werk moet u problemen zelfstandig op kunnen lossen. Wat u daarvoor nodig heeft, is inzicht. Onze aanpak is er daarom op gericht dat u leert hoe u te werk moet gaan en dat u inzicht krijgt. U bereikt er weinig mee als wij u oplossingen voorschotelen.

U moet zelf aan de slag

U treft bij de vele vragen in de cursusmap geen antwoorden aan. Dat zou de kracht uit de cursus halen. Eerst moet u zelf moeite doen om de antwoorden te vinden. Lukt dat niet, dan kunt u met behulp van uw docent en uw mede-cursisten (of met deskundigen op de zaak) proberen de goede antwoorden te vinden. Het zoeken naar antwoorden op vragen is in de praktijk precies hetzelfde als het zoeken naar antwoorden op vragen in deze cursusmap. Daarvoor moet u creatief denken. Het ontwikkelen van uw denkproces is mede het doel van deze cursus. Door bij u niet louter kennis naar binnen te gieten maar ook uw denkproces te ontwikkelen, blijft het leerproces na het behalen van het diploma

doorgaan. U blijft zoeken naar oplossingen op problemen en vragen, waarmee u in de praktijk te maken krijgt. U ontwikkelt vaardigheid en krijgt vertrouwen in het oplossen van problemen. U heeft ervaring gekregen in het aanpakken van problemen (analytisch denken) en weet waar de antwoorden te vinden zijn (bij collega's, chefs, bedrijfsdocumentatie, tijdschriften).

Het stellen van “domme” vragen

Op het moment dat u de uitleg van de docent niet meer kunt volgen, moet u absoluut uw vragen stellen. Hoewel hij er wel zijn best voor doet, heeft uw docent het niet altijd in de gaten dat u iets niet begrijpt. Vooral op de eerste avonden van de cursus is vrijwel iedereen er wat huiverig voor om, wat men wel noemt, een “domme” vraag te stellen. Toch is het belangrijk dat u vragen stelt, omdat vooral in het begin de basis voor de gehele cursus wordt gelegd. Achteraf blijkt altijd, dat velen van uw mede-cursisten u dankbaar zijn voor het stellen van die “domme” vraag.

Vragen en antwoorden in de leerstofmap

In de map staan drie soorten vragen.

- de zogenaamde “die zoeken we op” vragen
- de vragen die u alvast aan het denken moeten zetten
- de vragen die tot doel hebben discussie uit te lokken.

De zogenaamde “die zoeken we op vragen” zijn erop gericht te controleren of u weet wat er in het voorgaande is behandeld. Het antwoord is dan altijd in het voorgaande te vinden. De vragen die u alvast aan het denken proberen te zetten, dienen om u te prikkelen voor de onderwerpen die volgen. De antwoorden op zulke vragen kunt u niet opzoeken, omdat de onderwerpen nog behandeld moeten worden. Deze vragen zijn er niet alleen om u te prikkelen, maar ook omdat ze overeenkomen met de problemen uit de praktijk (bij een storing kunt u het antwoord ook niet even opzoeken). Bij deze vragen weet u nooit zeker, of het gevonden antwoord juist is (maar dat weet u met een storing in een machine ook niet). Dat gevoel van onzekerheid kan vervelend zijn. Daar staat tegenover dat u, wanneer het probleem later wordt besproken, uiterst gemotiveerd zult zijn. Het goede antwoord vergeet u dan nooit meer. U bent er immers intensief mee bezig

geweest. Op de vragen die tot doel hebben discussie uit te lokken, zijn altijd meerdere antwoorden mogelijk. Discussieer op de cursusavond over de mogelijkheden en luister kritisch naar de argumentatie van uw medecursisten.

Korte samenvattingen

Op school wordt voor een repetitie wel eens een spiekbriefje gemaakt. Heeft men zo'n spiekbriefje eenmaal gemaakt, dan kan het meestal worden weggegooid, omdat het onderwerp dan volkomen is begrepen. Dat is vooral het geval wanneer het meer om begrijpen gaat dan om het kennen van de feiten. Het is aan te bevelen om aan het eind van ieder hoofdstuk een beknopte samenvatting (spiekbriefje) te maken, waarin de kern van de leerstof is opgenomen. Dat is een goede manier van leren.

Ziekte

Heeft u één of meerdere bijeenkomsten, bijvoorbeeld door ziekte, verstek laten gaan, dan moet u door zelfstudie de opgelopen achterstand wegwerken. En juist daarvoor is deze cursusmap niet ingericht. Het is nu eenmaal een mondelinge en geen schriftelijke cursus. U zult zich extra moeten inspannen en, wanneer dat nodig is, de steun van medecursisten, collega's en natuurlijk de docent moeten vragen. Vooral met een medecursist de behandelde hoofdstukken en de daarin gestelde opgaven nog eens doornemen, blijkt bijzonder nuttig te zijn. Zowel voor de cursist met de achterstand als de medecursist. De laatste leert hier ook van omdat hij zijn verhaal duidelijk en concreet onder woorden moet brengen.

En nu: aan de slag!

De medewerkers van het ROVC wensen u veel succes en plezier met het volgen van deze cursus.

ROVC Technische Opleidingen

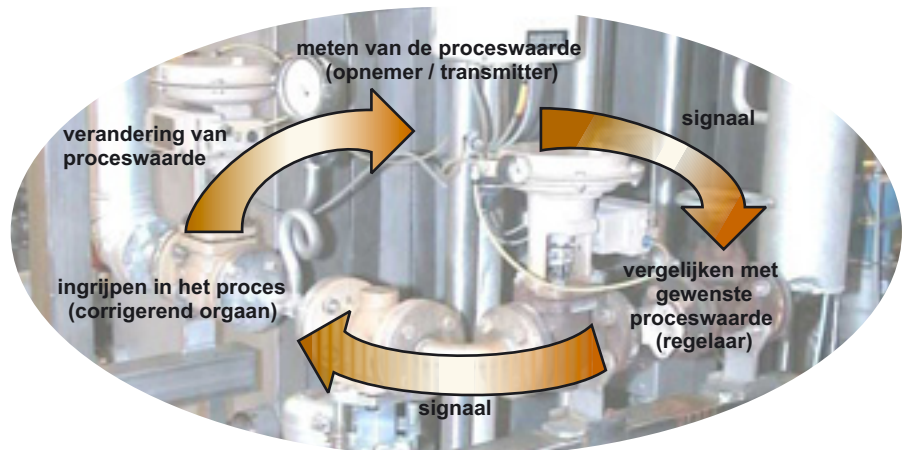
Hoofdstuk 1 Wat is Meet- en Regel- techniek?

Inleiding

In de industrie maar ook bij klimaatbeheersing, koudetechniek en gebouwbeheersystemen komen processen voor die automatisch geregeld worden. Ontwerpers bedenken hiervoor meet- en regelsystemen die bijvoorbeeld een temperatuur of druk op een gewenste waarde moeten houden. Om allerlei redenen kunnen in deze systemen storingen en verstoringen optreden. De meeste storingen ontstaan door het defect raken of verslijten van onderdelen, het verlopen van instellingen of aanpassing aan het proces zelf. Onderhoudstechnici en

storingsmonteurs moeten deze storingen opzoeken, componenten vervangen en opnieuw afstellen. Hiervoor moeten deze technici meet- en regelschema's lezen, en begrijpen hoe een automatische regeling is opgebouwd. Ze moeten ook kunnen controleren of het proces nog goed loopt.

Dit hoofdstuk behandelt de basis van de meet- en regeltechniek aan de hand van de regelkring in **figuur 1**.



Figuur 1 Principe van de regelkring als basis van de meet- en regeltechniek

Als praktijkvoorbeelden gebruiken we een gasdrukregeling en een temperatuurregeling. Om het basisprincipe zo duidelijk mogelijk naar voren te laten komen zijn de voorbeelden in dit hoofdstuk vereenvoudigd. Minder belangrijke onderdelen zijn weg gelaten.

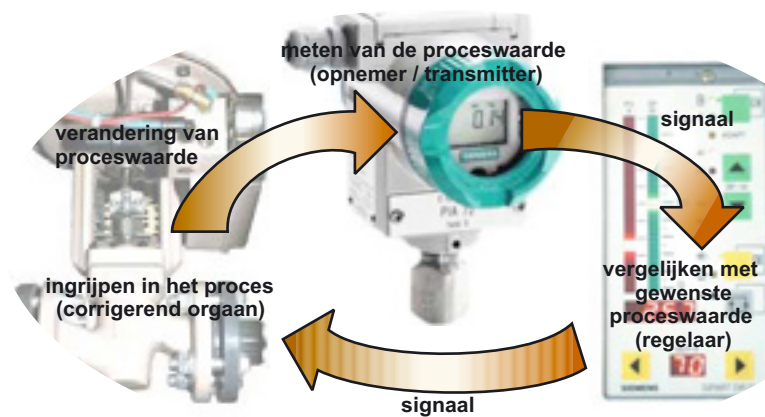
Gasdrukregeling

Om de werking van een regeling te begrijpen is een zeker inzicht in het proces noodzakelijk. Bij de gasdrukregeling moet de druk in een leiding naar de verdeelstations op een constante waarde van bijvoorbeeld 40 bar worden gehouden (zie **figuur 2**, **figuur 3** en **figuur 4**). Als het verbruik toeneemt moet de

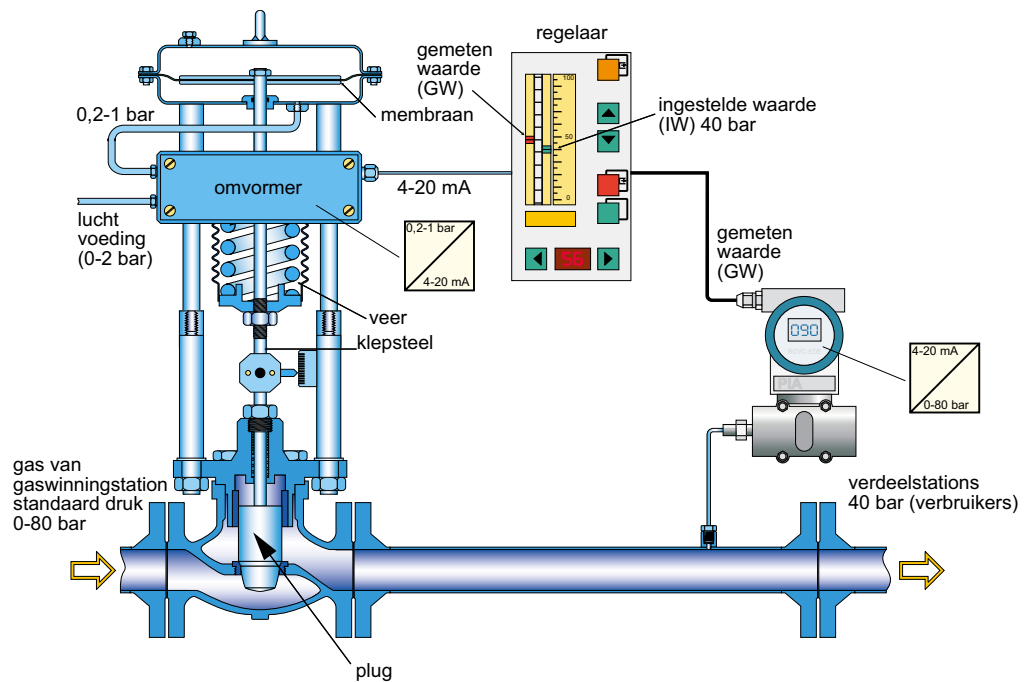
regelklep(kraan) verder openen om ervoor te zorgen dat de druk niet daalt maar op 40 bar blijft. Het gas wordt aangevoerd via het hoofdleidingnet met een druk van ongeveer 60 bar. Deze kan variëren tussen 0-80 bar.



Figuur 2 Gasdrukregeling



Figuur 3 Componenten in de gasdrukregeling



Figuur 4 Functionele weergave gasdrukregeling

De drukopnemer meet de druk in de verbruikersleiding en zendt (transmit in het Engels) de gemeten waarde (GW) naar de regelaar. De regelaar vergelijkt de in de leiding gemeten waarde (GW) met de ingestelde waarde (IW) op de regelaar. Is er een verschil tussen de gemeten waarde (GW) en de ingestelde waarde (IW), dan stuurt de regelaar een signaal naar de regelklep. Deze zal afhankelijk van het verschil verder sluiten of juist verder openen. Hierdoor moet dit verschil worden weggewerkt. Met andere woorden, wordt de GW in de leiding hoger dan de IW op de regelaar dan wordt de regelklep verder gesloten. Dit sluiten zal doorgaan tot de druk (GW) in de leiding weer gelijk is aan de ingestelde waarde (IW). Op de regelaar kan iedere gewenste druk tussen bijvoorbeeld 0 en 80 bar ingesteld worden. In dit voorbeeld is de druk ingesteld op 40 bar.

We zullen nu achtereenvolgens de functie van de drie basisonderdelen uit de regelkring in **figuur 3** en de signaalverbindingen ertussen behandelen.

Opgaven

1. Wat gebeurt er met de druk (GW) als het gasverbruik snel stijgt?
2. Zal de afsluiter verder open gaan of juist sluiten als de druk (GW) in de leiding lager wordt dan de IW van 40 bar?
3. Welk probleem ontstaat er als de gasdruk op het gaswinningstation daalt naar bijvoorbeeld 30 bar?

Basisonderdelen uit de regelkring

De opnemer/transmitter

De drukopnemer meet de druk (0-80 bar) in de leiding. Deze meting kan op basis van verschillende natuurkundige principes plaatsvinden. Met behulp van de nodige elektronica geeft dit een signaal dat overeenkomt met de drukwaarde. Dit signaal wordt in de transmitter eerst versterkt en omgezet naar een standaard signaal (bv 4-20 mA). Daarna gaat het via de signaaldraad naar de regelaar. Er is nu een direct (lineair) verband tussen de gemeten drukwaarde (0-80 bar) en het signaal (4-20 mA) van de opnemer/transmitter.



Figuur 5 Drukopnemer / transmitter

Opgave

- Hoe groot is het stroomsignaal in mA dat de druk- opnemer naar de ingang van de regelaar stuurt als de GW van de gasdruk 40 bar is?

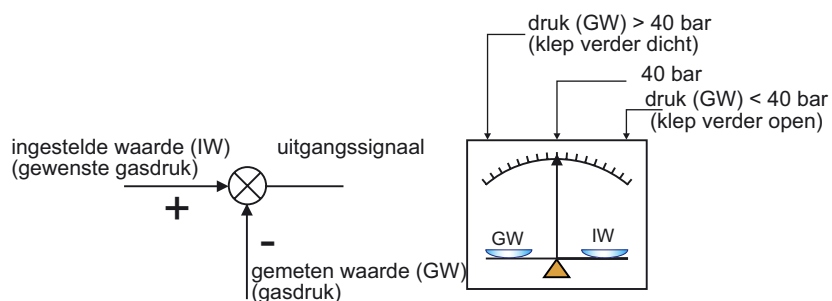
De regelaar

De intelligente regelfuncties zitten in de (elektronische) regelaar. Dit kan een "los" instrument zijn (zie **figuur 6**) maar deze intelligentie kan ook softwarematig in een proces-

computer zijn ondergebracht. De gewenste regelwaarden (parameters) worden op de regelaar ingevoerd. De belangrijke parameters (IW, GW) kunnen constant en direct op een display of bargraph worden afgelezen. De ingestelde waarde (IW) is een parameter die bij een regelaar wordt ingevoerd. Een van de belangrijkste functies van de regelaar is om deze IW te vergelijken met het signaal van de transmitter, de gemeten waarde (GW). Deze twee waarden worden in het zogenaamde "vergelijkingsorgaan" (zie **figuur 7**) van elkaar afgetrokken.



Figuur 6 Regelaar



Figuur 7 Vergelijkingsorgaan van de regelaar

Het vergelijkingsorgaan is te vergelijken met een balansweegschaal. Het verschil tussen de signalen heet, als het constant blijft, offset of blijvende statische afwijking. Als er offset is, betekent dit dat de gemeten waarde afwijkt van wat het moet zijn. Dit offsetsignaal kan in de regelaar nog worden versterkt of verzwakt. Ook andere regelacties zijn mogelijk. Het bewerkte offset signaal gaat daarna naar het corrigerend orgaan, in ons voorbeeld de regelklep. Dit signaal heet het uitgangssignaal van de regelaar (output, OUT) en is ook weer gestandaardiseerd tot bijvoorbeeld 4-20 mA.

Opgaven

5. In **figuur 7** wordt de GW 30 bar (IW is 40 bar). Wat gebeurt er met de weegschaal en wat is hiervan het gevolg voor het uitgangssignaal?
6. Hoe groot is het uitgangssignaal van het vergelijkingsorgaan als GW 80 bar wordt?

Direct of omgekeerd werkende regelaar

In **figuur 7** is een - bij GW en een + bij IW van het vergelijkingsorgaan getekend. Wordt de GW hoger (-), dan wordt de uitgang van de regelaar lager. Wanneer dit het geval is spreken we van een omgekeerd (indirect) werkende regelaar. Bij een regelaar kun je de werkingsrichting kiezen.

Een omgekeerd werkende regelaar geeft juist een steeds lager uitgangssignaal als de GW oploopt. De - staat dan bij GW en de + bij IW bij het vergelijkingsorgaan. De werkingsrichting van een regelaar (direct of omgekeerd) zegt niet direct iets over de werkingsrichting van de regelklep. Dit is afhankelijk van de klepconstructie. In ons voorbeeld wordt de klep door de veer gesloten (zie **figuur 4**) en zal een hoger signaal de klep open sturen. Dit wordt een normally closed (normaal gesloten) klep genoemd.

In de praktijk worden voor ingestelde waarde en gemeten waarde ook andere woorden en afkortingen gebruikt. De meest gangbare zijn samengevat in **figuur 8**.

gemeten waarde		ingestelde waarde	
gemeten waarde	GW	ingestelde waarde	IW
measured value	MV	setpoint	SP
ist-wert	IW	soll-wert	SW

Figuur 8 Benamingen en afkortingen voor IW en GW

De regelklep

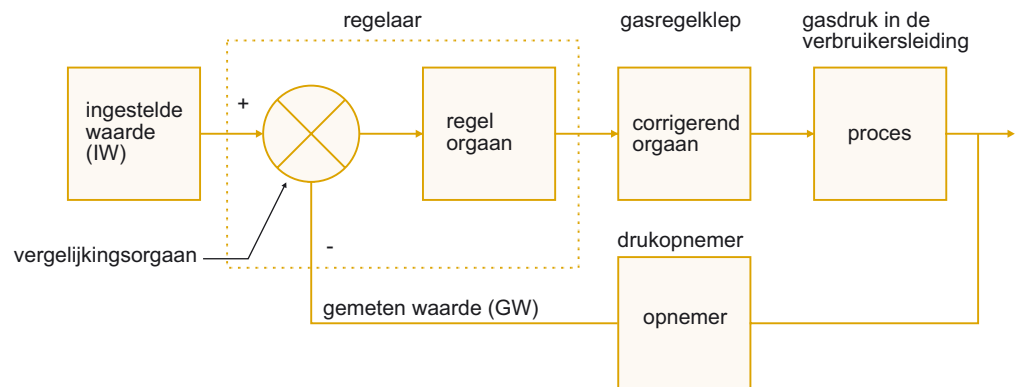
De regelklep heeft daadwerkelijk invloed op het proces en daarmee op de meetwaarde. Dit wordt in de regelkring het corrigerend orgaan genoemd. In ons voorbeeld gaat het om een pneumatisch bediende regelklep. De plug (zie **figuur 4**) wordt bediend door luchtdruk op een membraam te zetten dat verbonden is met de plug. Een veer zorgt ervoor dat de klep dicht staat als er geen aansturing plaatsvindt. Het membraanoppervlak is zo groot dat een luchtdruk van 100 kPa een kracht geeft die groot genoeg is om in ons voorbeeld de klep te open tegen de veerdruk in. Het gestandaardiseerde elektrische signaal van de regelaar worden omgevormd naar een gestandaardiseerd pneumatisch signaal (20-100kPa) voor de regelklep. Dit gebeurt in de (I/P) omvormer.



Figuur 9 Pneumatisch bediende regelklep

De stand van de regelklep, gestuurd door het verschilsignaal van IW en GW, beïnvloedt de gasdruk in de leiding naar de eindgebruikers. Hierdoor verandert de GW. Dit geeft weer een ander uitgangssignaal naar de regelklep. Daarmee is de regelkring gesloten.

Blokschema



Figuur 10 Blokschema van een regelkring

In **figuur 10** ziet u de gasdrukregeling uit **figuur 4** nog functioneler getekend in de vorm van een blokschema. Dit blokschema is een, in de meet- en regeltechniek, gestandaardiseerde weergave van een willekeurige regelkring. Alle regelkringen in de meet- en regeltechniek zijn te vertalen in het blokschema van **figuur 10**. Dit schema zal in het vervolg van de cursus vaak gebruikt worden. Het blok met **INGESTELDE WAARDE** is als functie gescheiden van de regelaar weergegeven. Het vergelijkingsorgaan is duidelijk een apart onderdeel van de totale regelaar. In werkelijkheid is de IW een instelparameter op de regelaar. Het blok met **PROCES** is voor te stellen als de druk in de leiding na de gasafsluiter. De druk na de gasafsluiter is het te regelen proces. Behalve het regelen van druk kan een proces ook bestaan uit het regelen van bijvoorbeeld temperatuur, hoeveelheid of niveau.

Automatisch regelen

Bij het ontwerp van een regelkring moeten de opnemer/transmitter en het corrigerend orgaan zodanig worden gekozen dat hiermee het proces op de gewenste "basisprocesconditie" kan worden geregeld. In ons voorbeeld van de gasdrukregeling zijn de basisprocescondities: een voordruk van 60 bar in het hoofdleidingnet, gewenste einddruk van 40 bar in het gebruikersnetwerk bij een afname-capaciteit van 50%. De druk in de hoofdleiding kan variëren tussen 0-80 bar. De opnemer moet dan drukken tussen 0-80 bar kunnen meten. De gasklep moet groot genoeg zijn om bij een maximale afname van alle verbruikers toch nog een druk van 40 bar te handhaven. Maar bij een heel gering verbruik moet de klep de druk ook goed kunnen regelen. Een verstoring betekent een afwijking

van deze oorspronkelijke basisprocescondities. Bijvoorbeeld een verandering in de afname van 50% of een toename van de voordruk. Deze verstoringen ten aanzien van de basisprocescondities worden door de regelkring automatisch gecorrigeerd. De regeling moet ook in staat zijn om de druk op bijvoorbeeld 45 bar te regelen, wat een andere IW betekent.

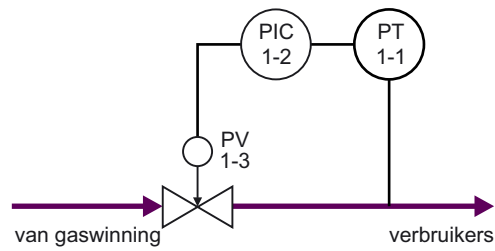
Er zijn natuurlijk ook storingen mogelijk zoals een klep die niet meer sluit, een signaalverbinding die onderbroken wordt of een opnemer waarvan de instellingen zijn verlopen. Deze storingen worden niet door de automatische regeling opgevangen.

Opgave

- U wilt een vloeistofstroom kunnen regelen op 5 l/min. Er is een regelklep gemonteerd met een capaciteit tussen 0 en 500 l/min. Hoeveel procent van de totale capaciteit van de regelklep gebruikt u? Welke gevolgen heeft dit voor de nauwkeurigheid van de regeling?

Schemalezen

Net als bij andere vakgebieden (elektrotechniek, koeltechniek) wordt in de meet- en regeltechniek gebruik gemaakt van schema's om installaties op eenvoudige, gestandaardiseerde manier weer te geven op papier. Om alle regelkringen en regelfuncties van een installatie in kaart te brengen wordt gebruik gemaakt van **Proces- & Instrumentatie-Diagrammen** (P&I-schema's of P&I-D) zie **figuur 11**.



Figuur 11 P & I-schematechniek

Opgaven

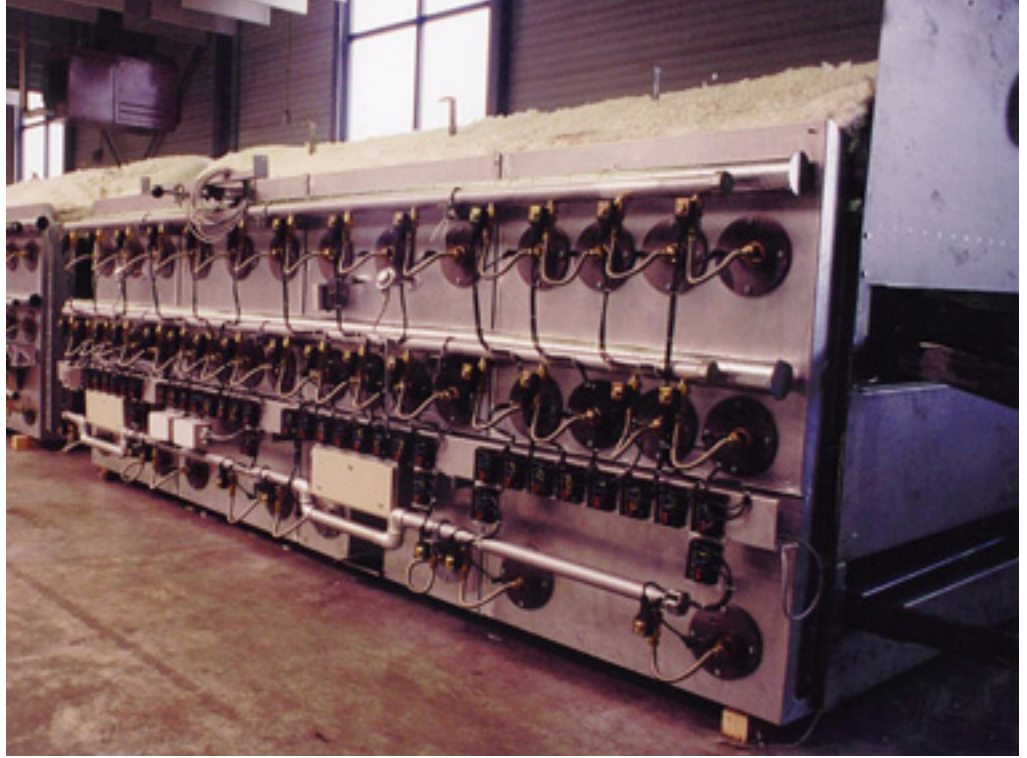
8. Met welk symbool en lettercodering worden in **figuur 11** de regelklep, regelaar en druktransmitter weergegeven?

Temperatuurregeling

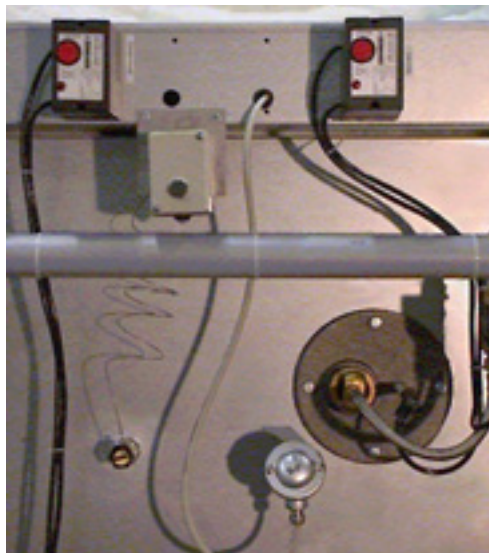
We laten aan de hand van de temperatuurregeling zien dat het basisprincipe van iedere regelkring gelijk is.

In **figuur 12** ziet u een tunneloven waarin deegproducten gebakken worden. De uitwendige beplating is verwijderd zodat u zicht hebt op de branders waarvan ook een

detail zichtbaar is. Deze oven bestaat uit een aantal secties waar verschillende temperaturen geregeld moeten worden. In **figuur 15** ziet u een vereenvoudigde schematische weergave van het proces in deze tunneloven en de temperatuurregelingen.



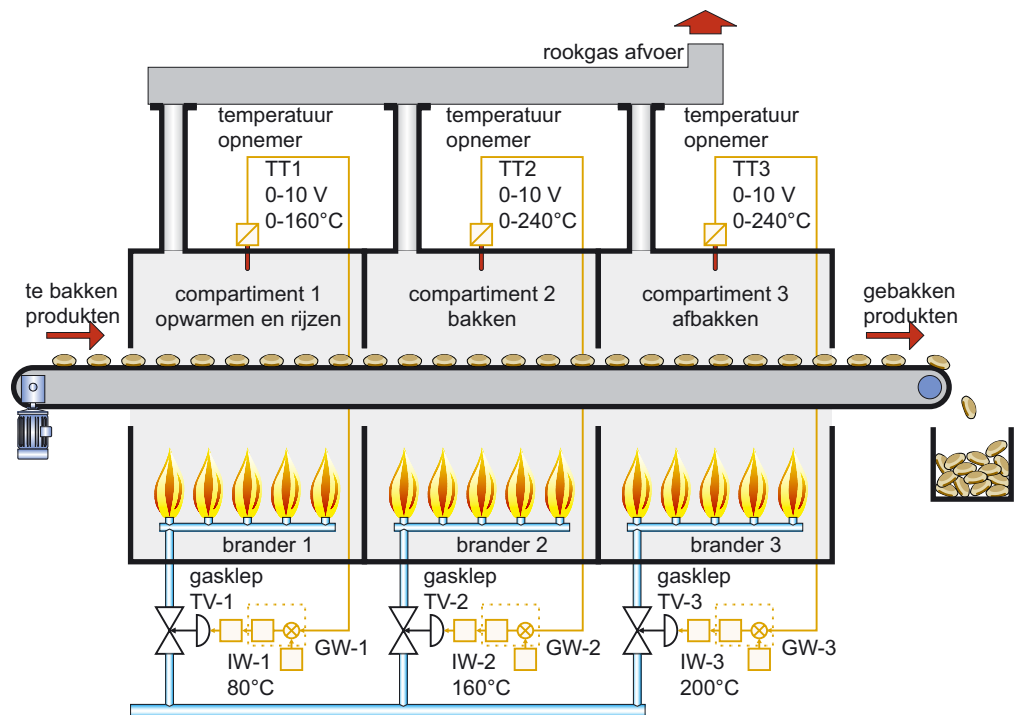
Figuur 12 Tunneloven (foto's Rademaker Den Boer b.v. Dalfsen)



Figuur 13 Detail brander



Figuur 14 Uitloop brood



Figuur 15 Schematische weergave van de temperatuurregeling in de oven

Opgaven

9. De temperatuur in compartiment 1 wordt hoger dan 80 °C. Moet de gasklep (TV1) nu verder openen of sluiten?
10. In compartiment 2 wordt de temperatuur hoger dan 160 °C. Het uitgangssignaal van de regelaar wordt nu kleiner. Is deze regelaar dan direct- of omgekeerd werkend ingesteld?
11. Waarom zou in compartiment 1 gekozen zijn voor een temperatuuroptemer met een meetgebied van 0-160 °C?

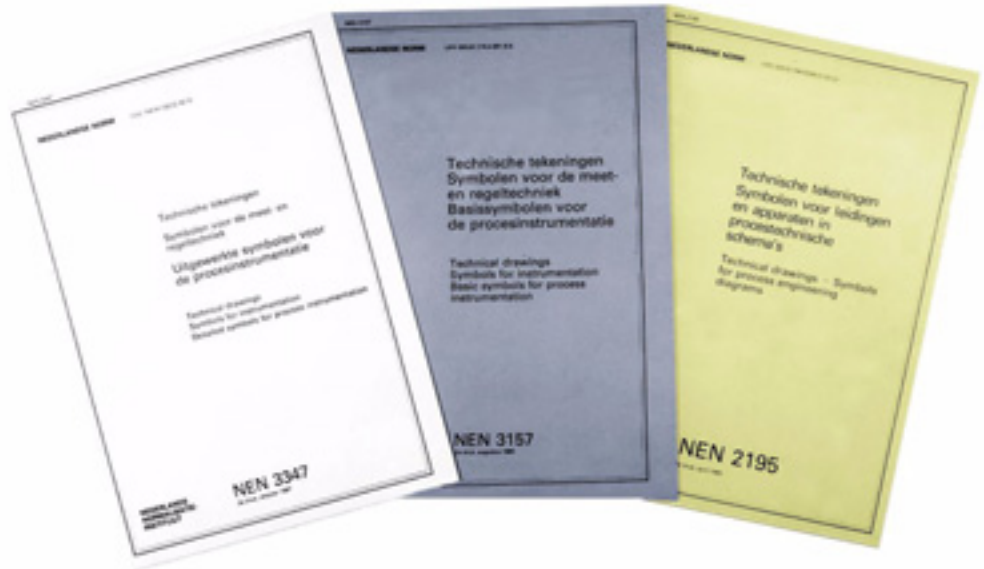
Hoofdstuk 2 P&I Schematechniek

Inleiding

De meet- en regeltechniek gebruikt vier verschillende schematechnieken:

- blokschema
- procestechnische schema
- proces- en instrumentatieschema
- installatieschema

In **figuur 16** en **figuur 17** staat een overzicht van de normen die gebruikt worden. In dit hoofdstuk staat het proces- en instrumentatieschema of kortweg P&I-schema centraal.



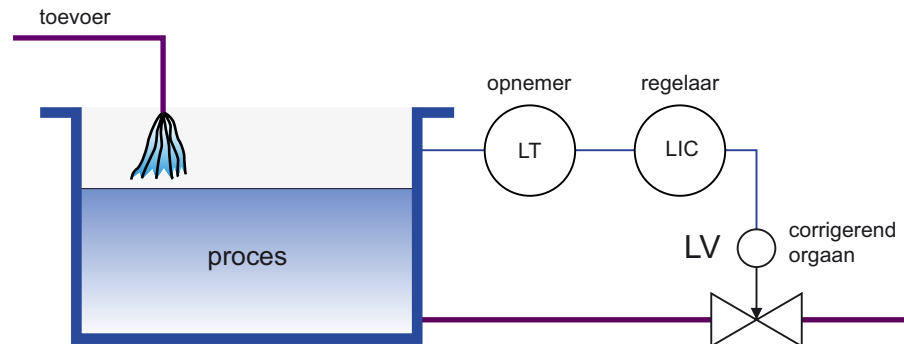
Figuur 16 NEN - boekjes voor de meet- en regeltechniek

NEN 3347	NEN 3157	NEN 2195
toepassing:	toepassing:	toepassing:
Geeft uitsluitend op componenten niveau de voor een proces benodigde meet- en regelapparatuur weer. Zeer gedetailleerd zoals capaciteiten, merk en type-aansluiting.	Geeft het verband weer tussen het proces en de gebruikte meet- en regelapparatuur. Het schema leent zich bij uitstek voor het begrijpen van de totale installatie. Het proces- en instrumentatie schema wordt vooral gebruikt bij storingen en bij onderhoud van zowel meet- en regelapparatuur als procesapparatuur.	Geeft het proces met de benodigde apparatuur weer. Zoals pompen, vaten, scheiders, warmte-wisselaars en torens. Maar ook de procesleidingen en de volgorde van de procesbewerkingen.

Figuur 17 Globale inhoud

Het proces- en instrumentatieschema

Zoals de naam al aangeeft, draait het in het proces- en instrumentatieschema om de samenhang tussen het proces en de gebruikte meet- en regelapparatuur. In **figuur 18** ziet u een eenvoudig P&I-schema (proces- en instrumentatieschema) van een niveau-regeling.

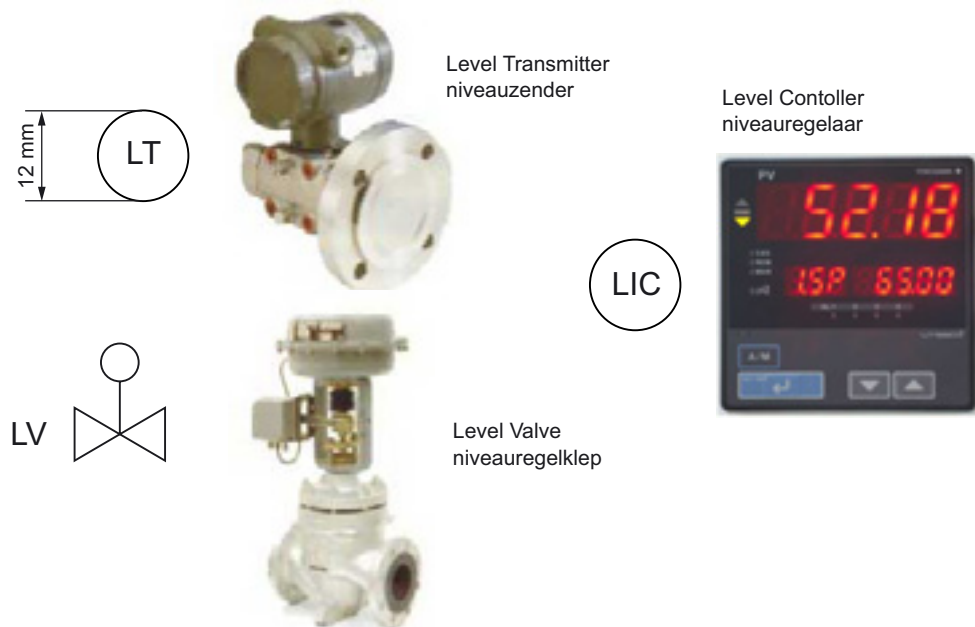


Figuur 18 P&I schema voor een niveauregeling

Het proces houdt het vloeistofniveau in een vat constant. Hiervoor wordt de afvoer gecorrigeerd. Afgezien van het vat en de bijbehorende leidingen bestaat **figuur 18** uit een aantal cirkels en twee driehoeken. In **figuur 19** zijn ze nog eens apart weergegeven.

Het basissymbool voor praktisch alle apparatuur, uitgezonderd het corrigerend orgaan, is bij P&I-schema's een cirkel met een diameter van 12 mm. In de cirkel wordt afhankelijk van

de functie een aantal letters geplaatst. Deze letters, die in een bepaalde volgorde moeten staan, zeggen iets over de functie van het apparaat. De meest linkse cirkel stelt de niveauzender (LT = leveltransmitter) voor. Deze levert het gemeten waardesignaal aan de regelaar.



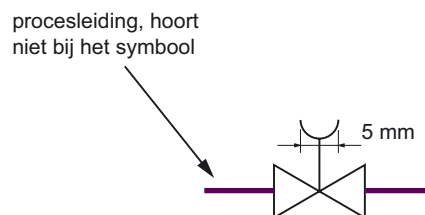
Figuur 19 Verklaring P&I symbolen

Bekijken we de niveauzender (LT) in **figuur 18**, dan zien we dat deze verbonden is met het vat én met de niveuregelaar (LC). De verbinding tussen de niveauzender en het vat is de meetleiding. De positie van de meetleiding in het schema geeft ongeveer de locatie aan in de installatie waar er gemeten wordt.

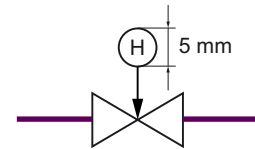
Pas op: denk niet dat de niveauzender (LT) stopt met meten als het niveau in het vat onder de meetlijn komt. De niveau-opnemer (LT) kan over de hele hoogte van het vat het niveau meten. De niveauzender (LT) zet deze meting om in een standaard gemeten waarde-signaal. Dit verbindingssignaal kan zowel mechanisch, elektrisch als pneumatisch zijn. Het gemeten waarde-signaal gaat naar de cirkel met de letters LC. Dit is een regelaar die het gemeten waarde-signaal vergelijkt met een intern ingesteld niveau. De letter C staat voor controller of regelaar.

In **figuur 18** gaat het uitgangssignaal van de regelaar (LIC) naar het corrigerend orgaan. In dit geval een regelklep. Een regelklep, level valve (LV), wordt niet altijd benoemd. Als de klep wel wordt benoemd is de eerste letter de soort regeling (niveau L, flow F, etc.). De tweede letter is altijd een V vanwege de klep (valve).

Als bediening voor de klep komt handbediening, een elektromotor, een pneumatische cilinder of een pneumatische motor in aanmerking. Als een klep geen deel uitmaakt van een regelkring en uitsluitend met de hand wordt bediend, wordt het symbool uit **figuur 20** gebruikt. **Figuur 21** is een door een regelaar gestuurde klep, die in noodgevallen met de hand kan worden bediend.



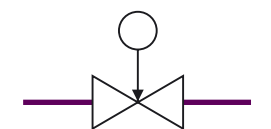
Figuur 20 Handbediende regelklep



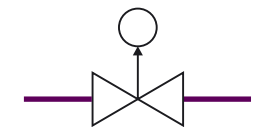
Figuur 21 Door de regelaar gestuurde regelklep, kan ook met de hand bediend worden

Bij regelkleppen geeft men meestal aan wat er gebeurt als de hulpenergie, zoals perslucht of elektriciteit, uitvalt. Immers, in dat geval valt ook de energie weg voor de bediening van de klep. De regelklep zal door de veer geheel opengaan, of juist geheel sluiten. Er zijn ook regelkleppen die door een elektromotor worden bediend en in de stand blijft staan, die deze tijdens het wegvallen van de energie had.

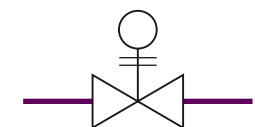
In **figuur 22** is weergegeven wat er met een regelklep gebeurt als de hulpenergie wegvalt.



klep sluit bij het wegvallen van de hulpenergie



klep opent bij het wegvallen van de hulpenergie

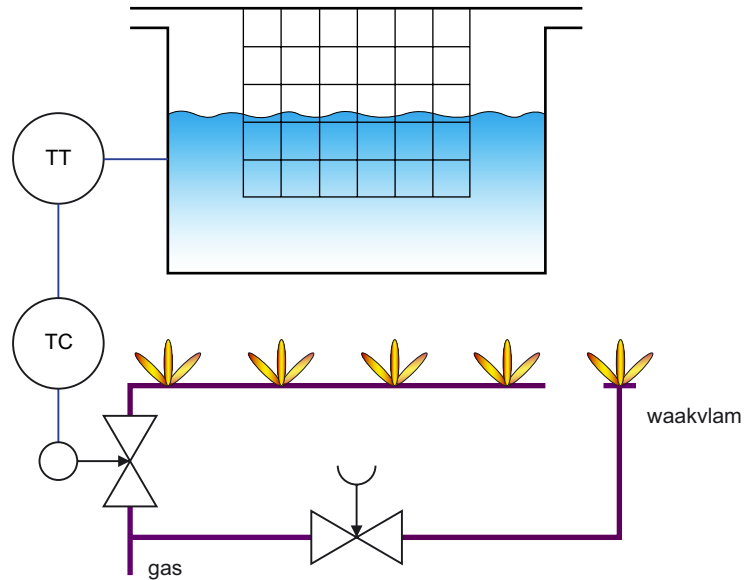


klep blijft op de laatste stand staan bij het wegvallen van de hulpenergie

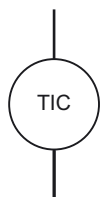
Figuur 22 Klepacties

Frituurinstallatie

In **figuur 23** ziet u het schema van een frituurinstallatie voor het voorbakken van frites. De installatie is gasgestookt. De brander kan tussen de 20 en 100% in capaciteit worden geregeld (modulerend gasblok).



Figuur 23 Frituurinstallatie



Figuur 24 TIC symbool

Opgaven

12. Wat betekenen de letters TT en TC in **figuur 23**?
13. Wat betekenen de letters TIC in **figuur 24**?
14. Wat betekent de pijl in de steel van de regelklep en verklaar waarom hiervoor gekozen is?
15. Bij welk van de symbolen in **figuur 23** wordt de ingestelde waarde ingesteld?
16. Welk onderdeel uit **figuur 23** levert de gemeten waarde?
17. Wat is de functie van het P&I-schema en wat wordt er in hoofdzaak mee weergegeven?

De lettercode bij het P&I-schema

De meet- en regeltechnische functie van een cirkel ligt pas vast als er letters in staan. Anders kan een cirkel van alles voorstellen. Ook de volgorde van opnemer tot corrigerend orgaan ligt door het plaatsen van de juiste letters vast. In de cirkel geeft de eerste letter aan wat er gemeten of geregeld wordt. In **figuur 25** is dit weergegeven. Leer deze letters niet botweg uit het hoofd.

De ervaring leert dat wie veel P&I-schema's leest, de belangrijkste letters vanzelf leert.

Soms wordt de meet- en regelfunctie aangevuld met een extra letter. Zo komen de letters D en F vaak als extra letter voor. Zie **figuur 26** en **figuur 27**.

codeletter *	te meten grootheid meetfunctie	engelse benaming	gebruikt als aanvullingsletter *
D	Dichtheid	Density	verschil
E	Elektrische grootheden	Electric	verhouding
F	Stroming	Flow	
G	Verplaatsing	Mechanical	periodiek aftastend
J			
K	Tijd (programma)	Time (program)	sommerend
L	Niveau	Level	
M	Vochtgehalte	Moisture	
P	Druk	pressure	
Q	Kwaliteit	Quality	
R	Kernstraling	Radiation	
S	Snelheid	Speed	
T	temperatuur	Temperature	
U	Multi variabele	Multi variable	
V	Viscositeit	Viscosity	
W	Gewicht	Weight	
X	Overige meetfuncties **		

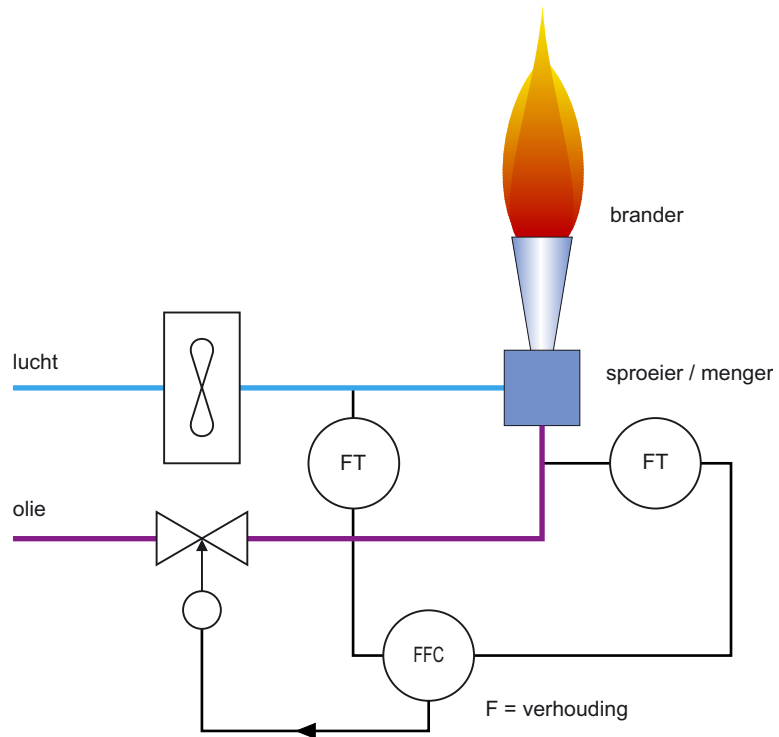
* Uitsluitend hoofdletters gebruiken.
Alleen voor de aanvullingsletter mag een kleine letter worden gebruikt, indien dit voor de duidelijkheid is gewenst.

** De letter X mag voor elke toepassing, waarvoor geen andere letters in de tabel zijn vastgelegd, worden gebruikt.
De betekenis moet dan wel per toepassing worden gedefinieerd.

Figuur 25 Gebruik van de eerste codeletter in het P&I symbool

Figuur 26 geeft een voorbeeld van de extra letter F, die als kleine letter f of als hoofdletter F geschreven wordt. De meetfunctie van beide opnemers is het bepalen van de flow (hoeveelheid). De regelaar heeft als taak de lucht en de olieflow in de juiste hoeveelheid en verhouding te regelen. Daarom wordt de

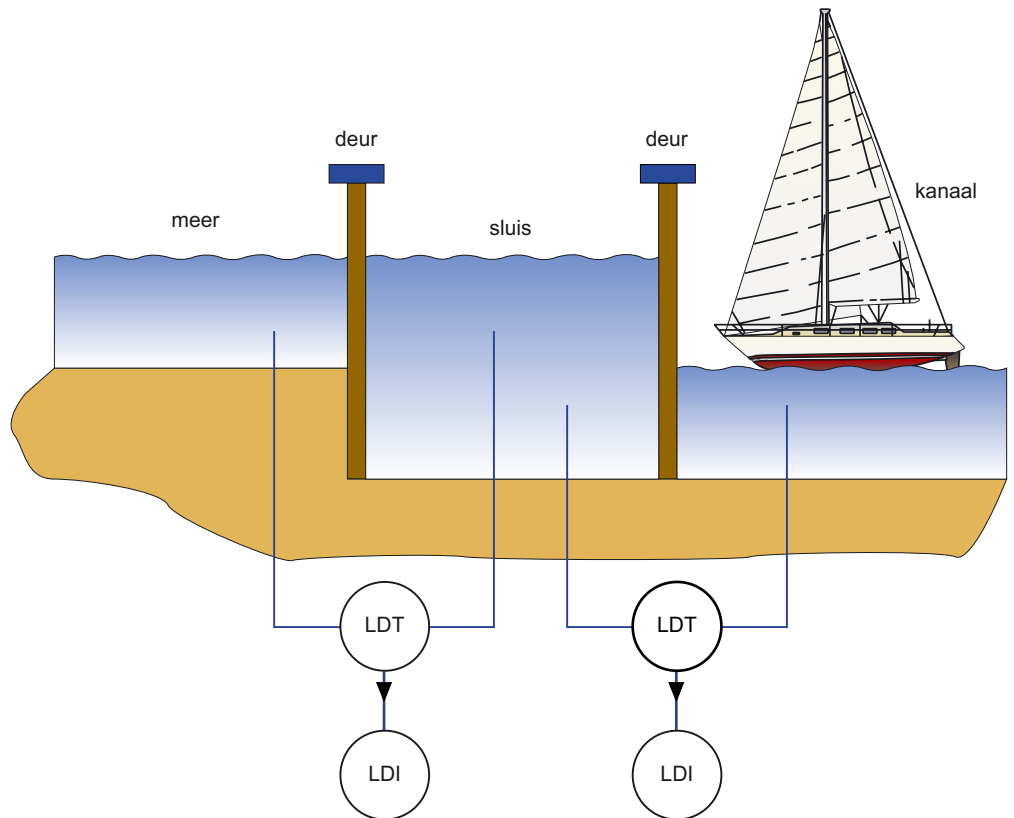
regelaar FFC genoemd en niet FC. Immers als er in de cirkel FC staat, is dit een regelaar die alleen de flow regelt niet de verhouding tussen de beide flows.



Figuur 26 Branderregeling

In **figuur 27** ziet u een sluis die de scheepvaart tussen het meer en het lager gelegen kanaal mogelijk maakt. De sluis heeft twee niveauzenders, die ieder twee meetaansluitingen en één uitgang hebben. Het

uitgangssignaal van de niveauzenders wordt bepaald door het niveauverschil tussen de twee meetleidingen. Bij gelijke niveau's geven de verschildrukopnemers 0% aan.

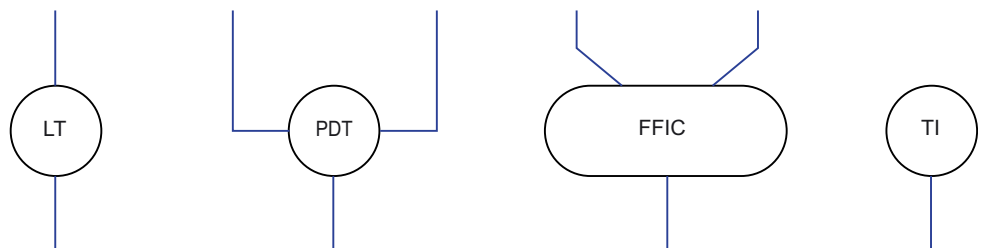


Figuur 27 Twee niveauverschil zenders

Opgaven

- 18. Wat betekenen in de cirkels de letters LDT?
- 19. Wat is in de getekende situatie in **figuur 27** het uitgangssignaal van de linker opnemer in procenten?

- 20. Wat betekenen de letters LDI en wat is de functie van dit onderdeel?
- 21. Geef de betekenis van de symbolen en de lettercoderingen uit **figuur 28**?

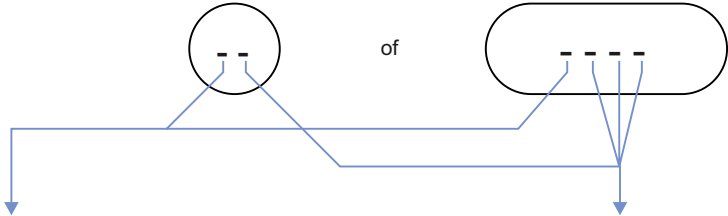


Figuur 28 Diverse P&I symbolen

Aanvullende codeletters

Om de functie van de meet- en regelapparatuur aan te geven worden ook letters gebruikt. Deze extra letters worden na de meetfunctieletters in de cirkel geschreven. Zo'n aanvullende letter is bijvoorbeeld de **T** of de **C**, die respectievelijk voor transmitter en controller staan. Andere belangrijke letters zijn de **I**, de **R** en de **A**. In **figuur 29** staan alle letters die als aanvullingscodeletter gebruikt

worden, samen met de reeds besproken meefuncties. Voorlopig zijn de letters **A**, **C**, **I**, **R** en **T** van belang. De functie van de letters **C** en **T** is al aan de orde geweest, maar de andere drie hebben nog enige toelichting nodig.



code letter	meet- of andere ingangsfunctie		code letter	verwerkingsfunctie als volgende letter
	als eerste letter	als aanvullingsletter		
D	dichtheid	verschl	A	alarterend
E	elektrische grootheid	verhouding	B	toestandindicatie
F	debiet (massavolumestroom)		C	automatisch regelend, volgens programmabesturend
G	afstand, lengte, stand	periodiek afstend (scanning)	E	opnemer, sensor
H	bediening of ingreep met de hand		I	aanwijzend
J			N	andere dan genoemde functies
K	tijd of tijdprogramma		P	proefaansluitpunt
L	niveau	integrerend, totaliserend	Q	tellend, sommeerend
M	vochtgehalte, vochtigheid		R	registrerend
N	andere dan genoemde functies		S	schakelend
O			T	zendend (transmitting)
Y			U	meervoudige functie
P	druk		V	corrigerend orgaan
Q	kwaliteit bijv. analyse, concentratie, geleidendheid		X	niet geclassificeerd, bijv. tv-camera, kathode straalbuis, radioactieve bron
R	kernstraling		Y	rekenfunctie, rekenrelais
S	snelheid, frequentie		Z	noodingreep, beveiligings actie
T	temperatuur			
U	multivariable			
V	viscositeit			
W	kracht, massa			
X	overige meetfuncties			

Volgorde van decodeletters bij meerdere verwerkingsfuncties: I B R C T Q U X Y A Z

Figuur 29 Tabel voor P&I codeletters

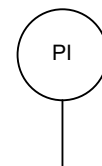
De letter I staat voor aanwijsinstrument. Dit instrument kan een aparte meter zijn voor de gemeten waarde. Zie **figuur 30** en **figuur 32**. Maar het kan ook zijn dat de gemeten waarde op de regelaar kan worden afgelezen. Zie **figuur 31** en **figuur 33**.



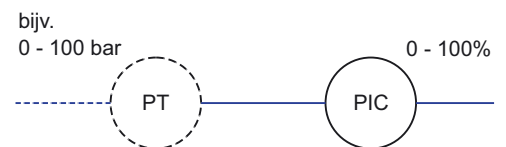
Figuur 30 Manometer (0-100 bar)



Figuur 31 Regelaar



Figuur 32 Pressure Indicator (drukmeter)

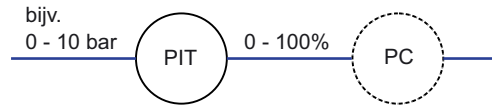


Figuur 33 Pressure Indicator Controller (drukmeter regelaar)

Figuur 34 geeft nog een manier om de gemeten waarde af te lezen. De gemeten waarde is hier afleesbaar op de zender (transmitter). Een apparaat kan dus meerdere verwerkingfuncties tegelijk vervullen. Dit betekent dat er naast de codeletter(s) voor de meetfunctie meerdere letters voor het weergeven van de functies voorkomen. In het geval dat een apparaat meer verwerkingfuncties tegelijk vervult, schrijft de norm een bepaalde volgorde voor waarin de letters geschreven moeten worden. Zie **figuur 32**, **figuur 33** en **figuur 35**.



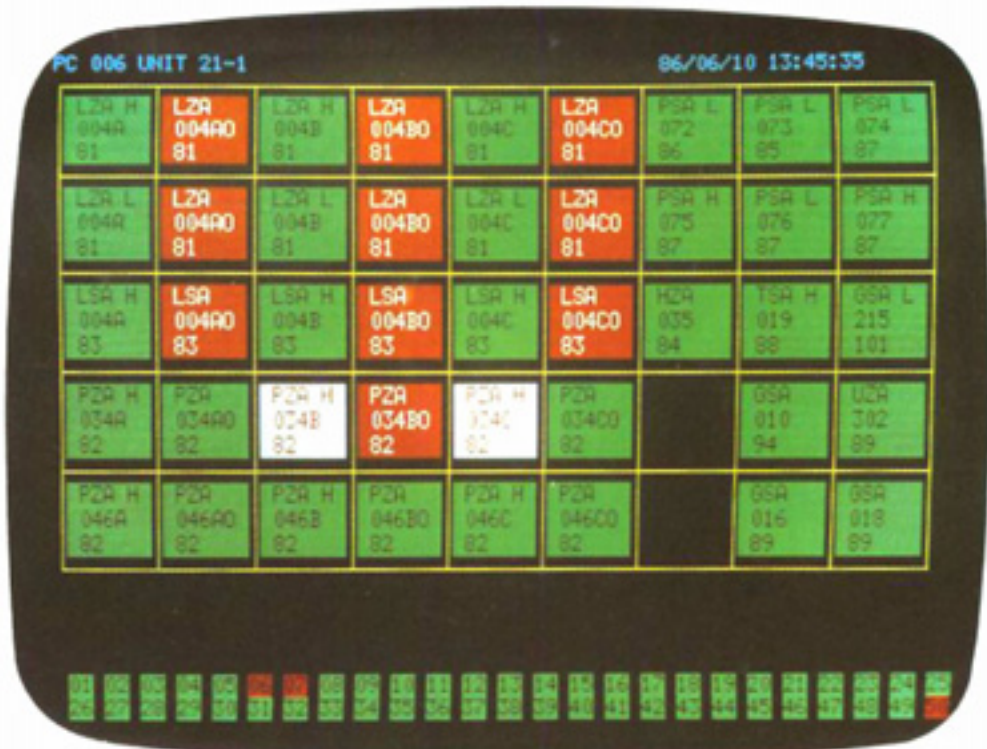
Figuur 34 Drukopnemer / zender



Figuur 35 Pressure Indicator Transmitter (drukmeter zender)

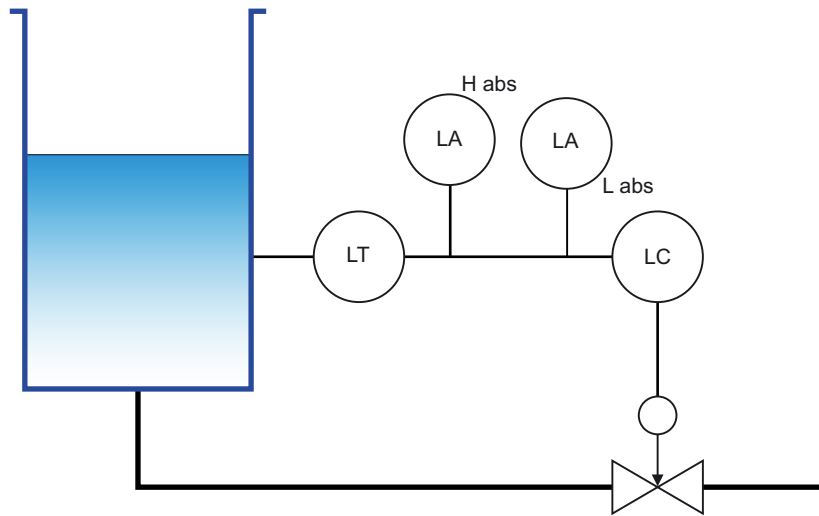
Als voorbeeld hebben we een te meten druk van 0 tot 10 bar. Om het geschikt te maken voor de regelaar vertaalt de transmitter in **figuur 34** dit in een standaard-sigitaal van bijvoorbeeld 4-20 mA. In P&I-schema's wordt dit niet aangegeven.

In sommige processen is alarmering nodig om aan te geven dat er iets mis is met het proces. Zo'n alarm kan bestaan uit een lampje of een zoemer, of bij installaties met een procescomputer uit een monitor, vol met alarm-signalen of meldingen. Zie **figuur 36**.



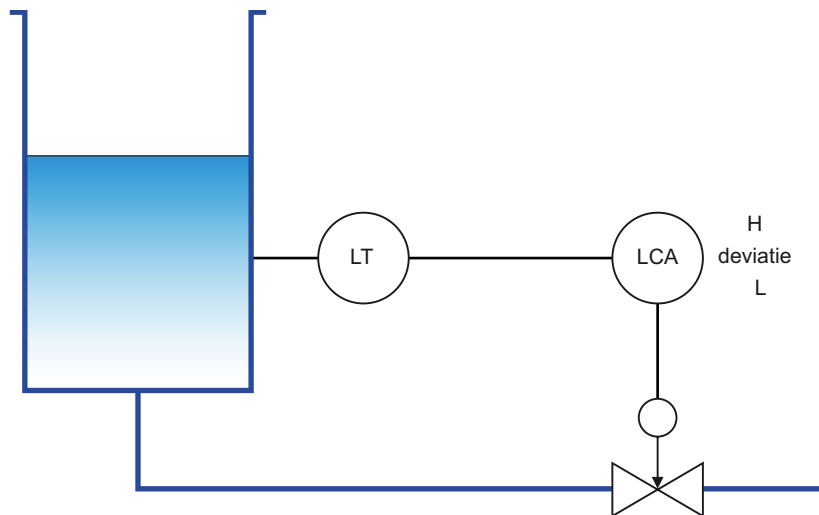
Figuur 36 Beeldscherm met alarmoverzicht

In **figuur 37** staan een hoog- en laag alarm gescheiden getekend. Beide alarmen zijn absolute alarmen. Een absoluut alarm geeft een signaal bij een absolute gemeten waarde.



Figuur 37 Niveauregeling met gescheiden absoluut alarm

In **figuur 38** staan een hoog- en laag alarm gecombineerd getekend. Beide alarmen zijn deviatie alarmen. Deze alarmen geven een signaal als het verschil tussen de gemeten waarde (GW) en ingestelde waarde (IW) te groot wordt.

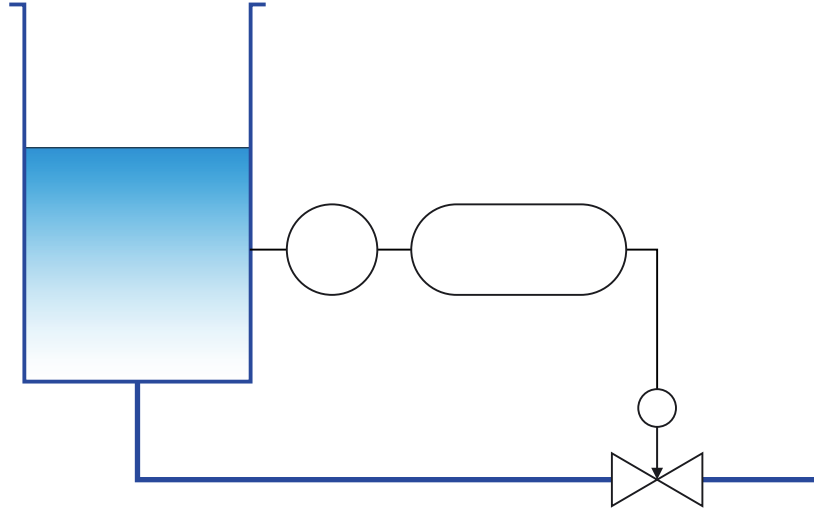


Figuur 38 Niveau regeling met gecombineerd deviatie alarm

Opgaven

22. Wat is de functie van een deviatie alarm en een absoluut alarm? Geef van beide alarmen een voorbeeld.

23. In de praktijk hebben veel regelaars twee vrij te kiezen alarmsignalen. Voorzie in **figuur 39** de symbolen van de juiste letters. De regelaar bevat ook nog een meter.



Figuur 39 Regelkring voor niveau

P&I schema van de centrale verwarmingsketel

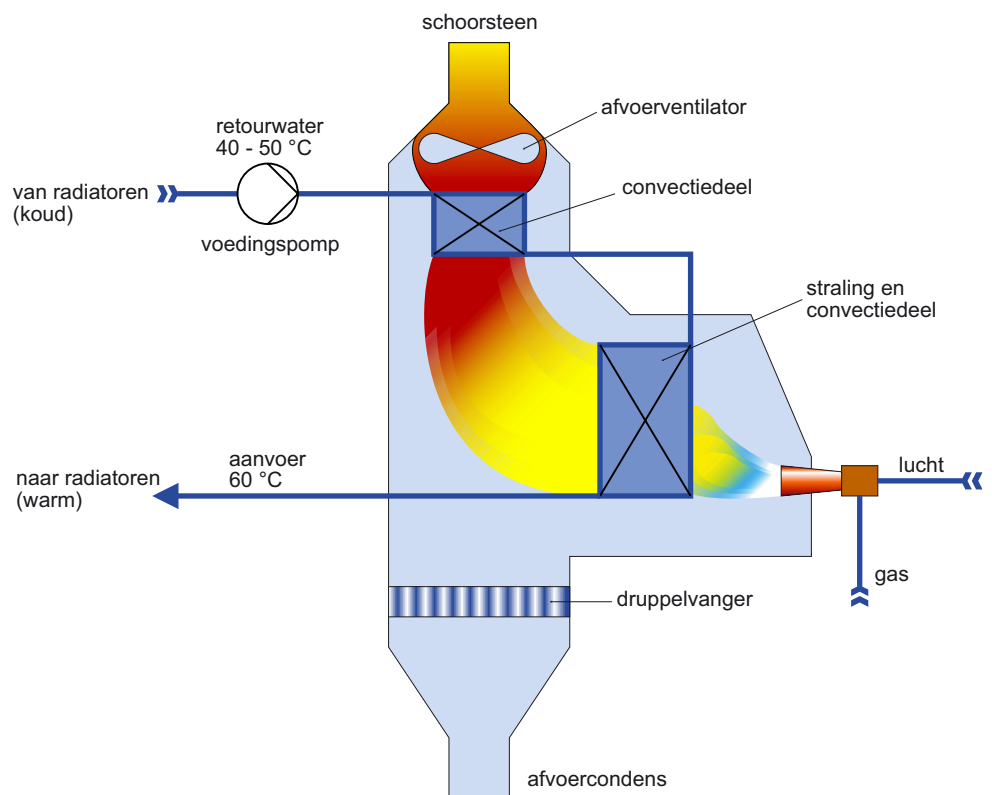
Als voorbeeld voor de uitleg van P&I-schema's is gekozen voor een centrale verwarmingsketel met een hoog rendement. In dit geval voor de verwarming van een flatgebouw.

Procesbeschrijving

In **figuur 40** ziet u de basisopbouw van een grote HR-ketel. De letters HR staan voor Hoog Rendement. De ketel bestaat uit twee warmte-omzetters. De onderste "enveloppe" is het schemasymbool van een warmtewisselaar die direct in contact staat met de gasvlam.

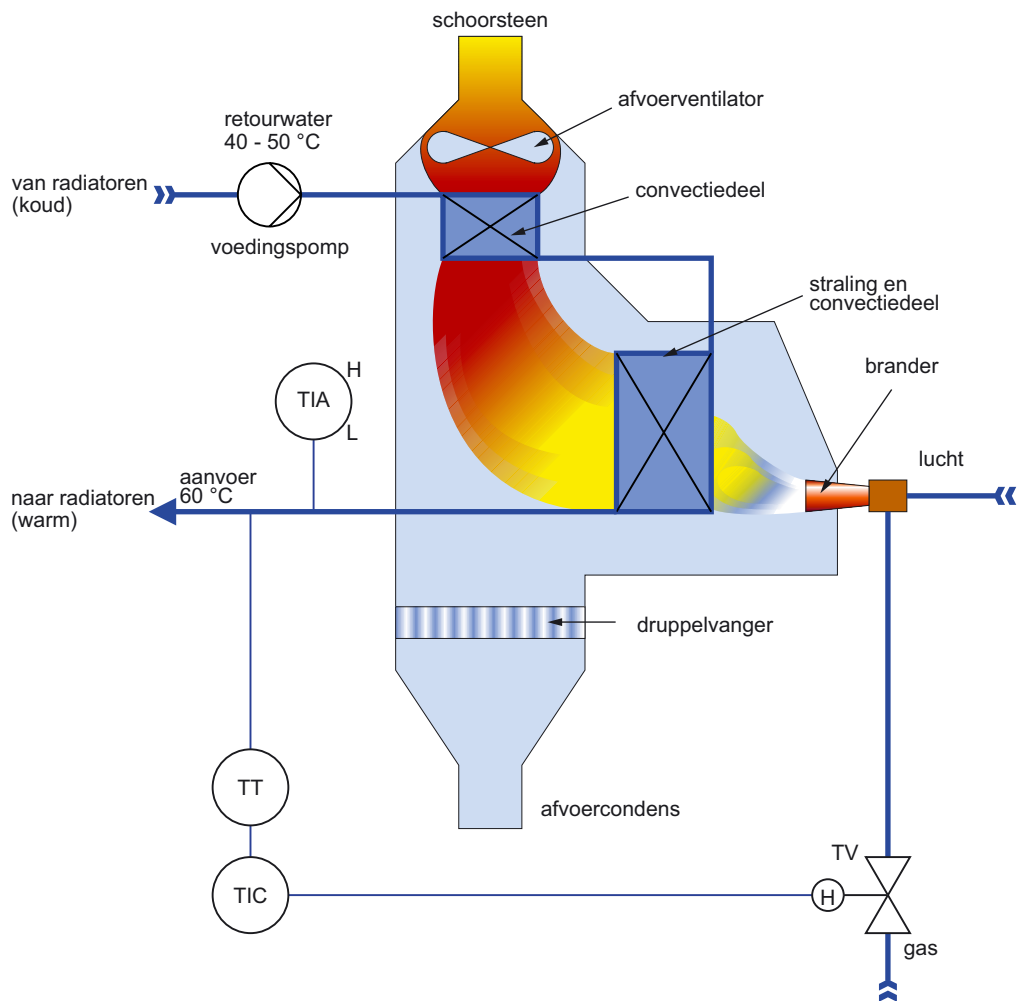
De energiewinst bij een HR-ketel zit in het feit dat er extra warmte uit de afvoerookgassen wordt gehaald. Dit gebeurt in **figuur 40** in de kleine warmtewisselaar. De warme rook-

gassen stromen hier langs een pijpenconstructie, waardoor het retourwater wordt voorverwarmd. De meeste energie uit de afvoerookgassen kan worden teruggewonnen door deze tot onder de 60 °C af te koelen. Hierdoor ontstaat echter wel condens (waterdruppels), die door de druppelvanger wordt opgevangen en afgevoerd naar het riool. Omdat bij dit soort installaties de afvoerookgassen sterk worden afgekoeld, willen deze niet vanzelf meer door de schoorsteen opstijgen. Om toch de rook af te voeren heeft men een ventilator ingezet.



Figuur 40 HR (hoog rendement) centrale verwarmingsketel

In **figuur 41** is de CV-ketel voorzien van wat meet- en regelapparatuur.



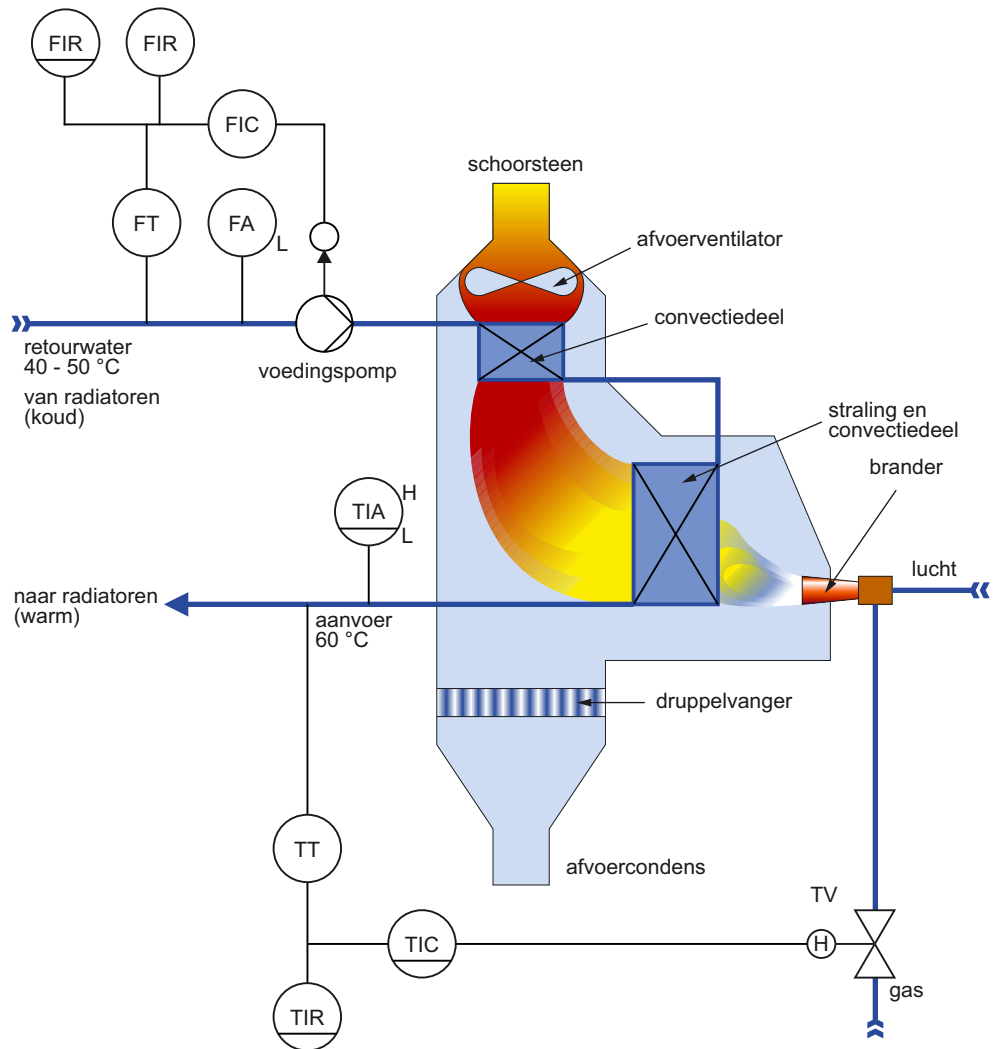
Figuur 41 Regeling voor de CV-ketel

Opgaven

24. Zoek in de symbolenlijst de betekenis op van de gebruikte componenten en noteer deze.
25. Wat is de functie van het temperatuuralarm TIA?
26. De brander kan geregeld worden tussen 20 en 100% capaciteit. Geef aan wat er gebeurt als de temperatuur van het warme water lager wordt dan de ingestelde waarde. Gebruik in de beschrijving de componenten TT, TIC en de regelklep.
27. Stel dat de stuursignalen weg vallen. Welke klep zou u dan in verband met de veiligheid kiezen? Een klep, die zich automatisch sluit of een, die zich automatisch helemaal opent? Waarom? Teken dit in **figuur 41** en **figuur 42**.

In **figuur 42** is de CV-installatie weer iets verder aangekleed. Om een constante warm water- doorstroming te krijgen, staat een flow-regeling in de procesleiding van de installatie. Flow of stroming is de hoeveelheid vloeistof

(of gas), die per tijdseenheid een bepaald punt (het meetpunt) passeert. Deze grootheid wordt weergegeven in m³/uur of m³/min. of l/sec. Een ander woord voor flow is debiet.



Figuur 42 Regeling CV-ketel

Registreren betekent dat het signaal over het verloop van de tijd vastgelegd wordt. Je kunt zo terugkijken wat de waarde van een signaal bijvoorbeeld 5 minuten, een uur of zelfs dagen geleden geweest is.

Dit vastleggen van het signaal kan op papier zijn maar ook digitaal worden opgeslagen in een geheugendrager. Een recorder of datalogger kan meerdere signalen vastleggen en weergeven.

In **figuur 43** ziet u een schrijver en in **figuur 44** een voorbeeld van een datalogger. Het P&I-symbool in **figuur 45** geeft aan dat er een temperatuur wordt geregistreerd.

De streep in het schemasymbool van **figuur 45** betekent dat het instrument, in dit geval een recorder, niet op de installatie is gebouwd maar zich in een centrale meet- en/of bedieningsruimte bevindt.



Figuur 45 P&I schema symbool voor de recorder



Figuur 43 Recorder met papierrol

Opgaven

28. Wat is de functie van TIR in **figuur 42**?
29. Benoem de componenten rond de voedingspomp en geef in **figuur 42** aan wat de functie is van dat geheel.
30. Waaraan kunt u zien dat de voedingspomp (**figuur 42**) zijn maximale opbrengst blijft leveren als de hulpenergie uitvalt?



Figuur 44 Datalogger met display

Instrumentatiecodering

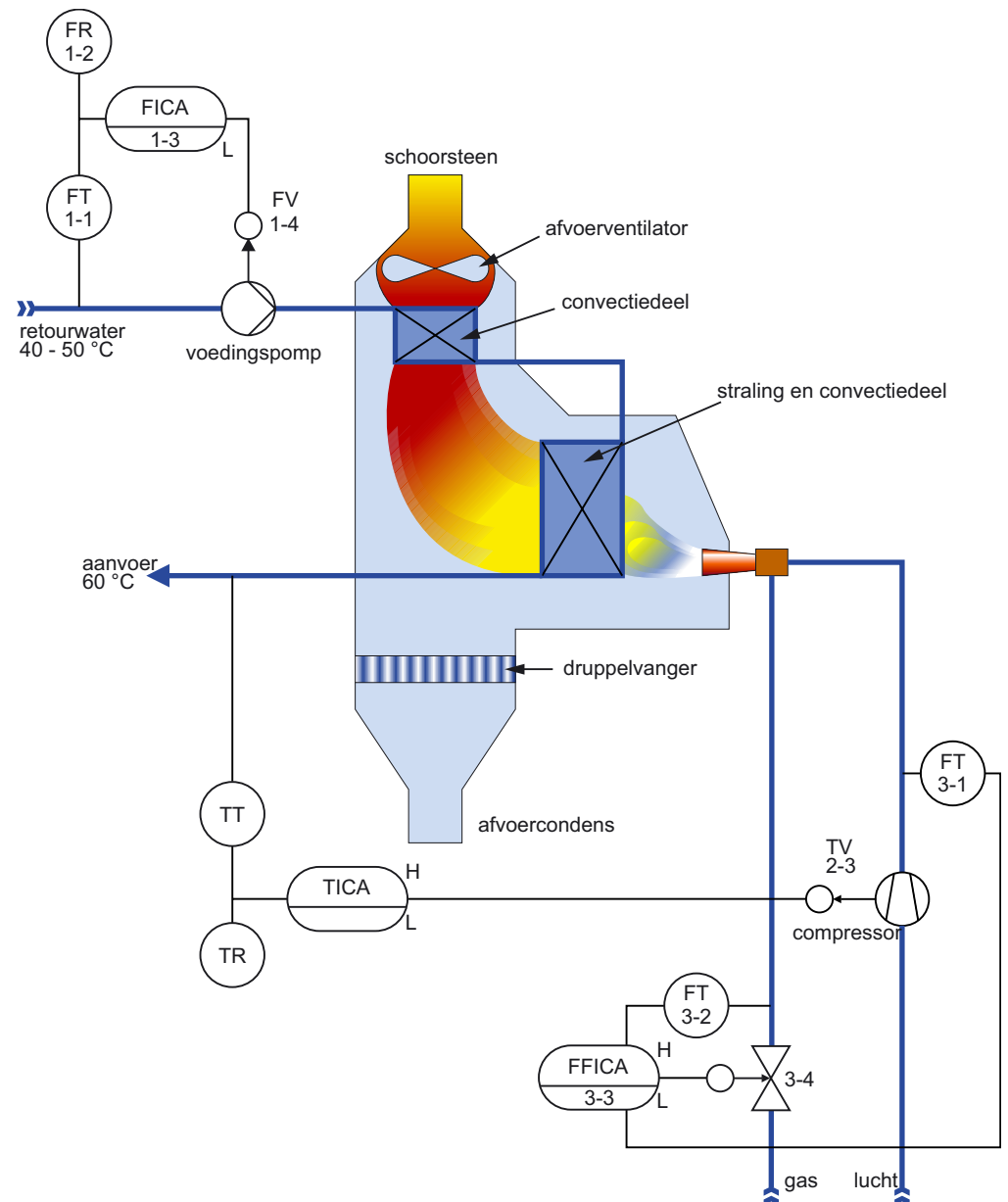
De regeling voor de CV-ketel van **figuur 42** is in **figuur 46** uitgebreid met een extra regelkring. Hiermee komt het aantal regelkringen in **figuur 46** op drie. Er zijn echter installaties die meer dan 100 kringen bezitten. In dergelijke installaties bestaat de kans dat bij defecten de verkeerde opnemer wordt vervangen.

In de grotere installaties hebben de instrumenten daarom een uniek eigen nummer. Dit wordt wel de Tag-codering of P&I-codering genoemd. Voor het nummer bestaan verschillende methoden. Één van de bekendste is die waarbij de regelkring een nummer krijgt, zoals de flowregeling in **figuur 46** het nummer 1 draagt. Verder krijgen alle componenten uit die kring een volgnummer,

meestal beginnend bij de opnemer. Zo heeft de flowtransmitter nummer 1-1; de flowrecorder nummer 1-2; de flowindicator controller alarm nummer 1-3 en tot slot de regelbare circulatiepomp nummer 1-4.

Opgaven

31. Nummer de temperatuurregeling.
32. Benoem de componenten van de verhoudingsregeling.
33. Geef in eigen woorden de werking van de verhoudingsregeling weer.
34. Wat gebeurt er als door een defect de luchtcompressor uitvalt?

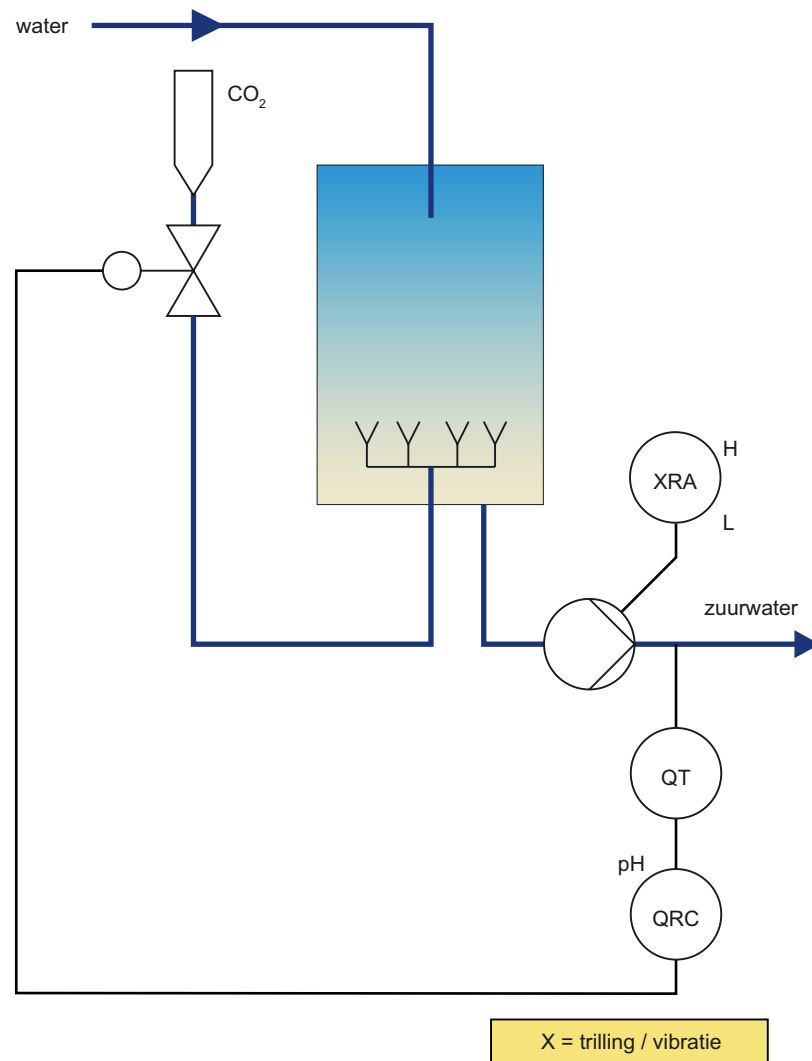


Figuur 46 Regelkringnummering CV-ketelregelingen

Bijzondere instrumentatie-coderingen

Is de codering van de te meten grootheid niet vastgelegd, dan wordt de beginletter X gebruikt. Zo kan een XRA van alles zijn. Bijvoorbeeld: XRA is een recorder, die schrijft en bij veel trilling alarmeert. In de industrie komt het voor, dat de grootheid die gemeten wordt, geen standaardgrootheid is. Buiten de instrumentencirkel wordt dan vaak de betekenis van X gegeven.

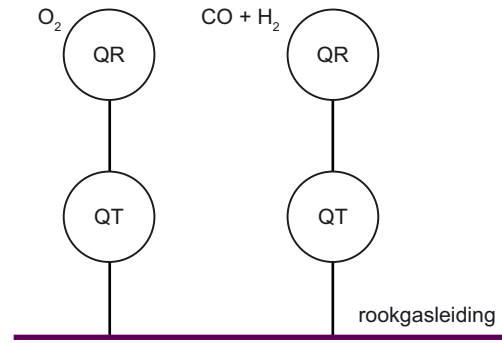
In **figuur 47** staat een voorbeeld van het meten van een trilling. De pH is een chemische aanduiding van een zuurgraad in een stof. De aanduiding pH komt ook voor bij de QRC omdat de pH iets zegt over de kwaliteit van de stof.



Figuur 47 Bijzondere aanduidingen met bijschrift

Bij het meten van Q = kwaliteit, wordt naast de cirkel aangegeven van welke grootte de kwaliteit wordt gemeten. In **figuur 48** wordt van rookgas de waterstof (chemische aanduiding H_2), zuurstof (O_2), en de koolmonoxyde (CO) gemeten.

In dergelijke gevallen is de codering zoals in **figuur 48** is getekend:



Figuur 48 Bijschrift bij P&I symbolen

P&I-symboliek VOOR procescomputers

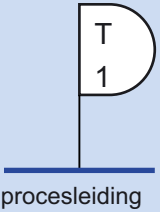
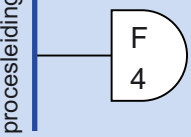
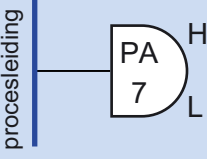
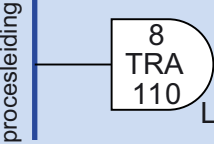
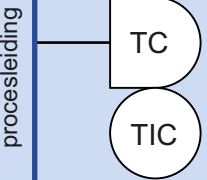
Voor componenten die met een procescomputersysteem verbonden zijn is de vorm van de P&I-symbolen anders. In plaats van een cirkel is het een halve cirkel gecombineerd met een rechthoek. In **figuur 50** ziet u hiervan verschillende voorbeelden. Het gebruik en de betekenis van de lettercodering blijft gelijk.

Bij installaties met een procescomputersysteem zijn de meet- en regeltechnische functies ondergebracht in een computer. De bediening vindt plaats op afstand vanuit een centrale bedieningsruimte. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van beeldschermen, toetsenborden en muis (zie **figuur 49**).



Figuur 49 Computersysteem toegepast in de meet- en regeltechniek

Aan de lettercoderingen ziet u dat de functies die in individuele regelkringen als losse componenten bestaan (I, A, C, R etc.) in het procescomputersysteem geïntegreerd zijn. U ziet in **figuur 50** ook combinaties van functies die zowel lokaal in een regelaar zijn ondergebracht maar ook met de procescomputer verbonden zijn. Deze combinatie kan ontstaan als een oud meet- en regelsysteem wordt uitgebreid met nieuwe componenten en bestaande instrumentatie ook wordt doorverbonden met een procescomputer. Het kan ook een bewuste keuze zijn om als back-up bepaalde kritische regelingen ook nog lokaal te kunnen laten functioneren.

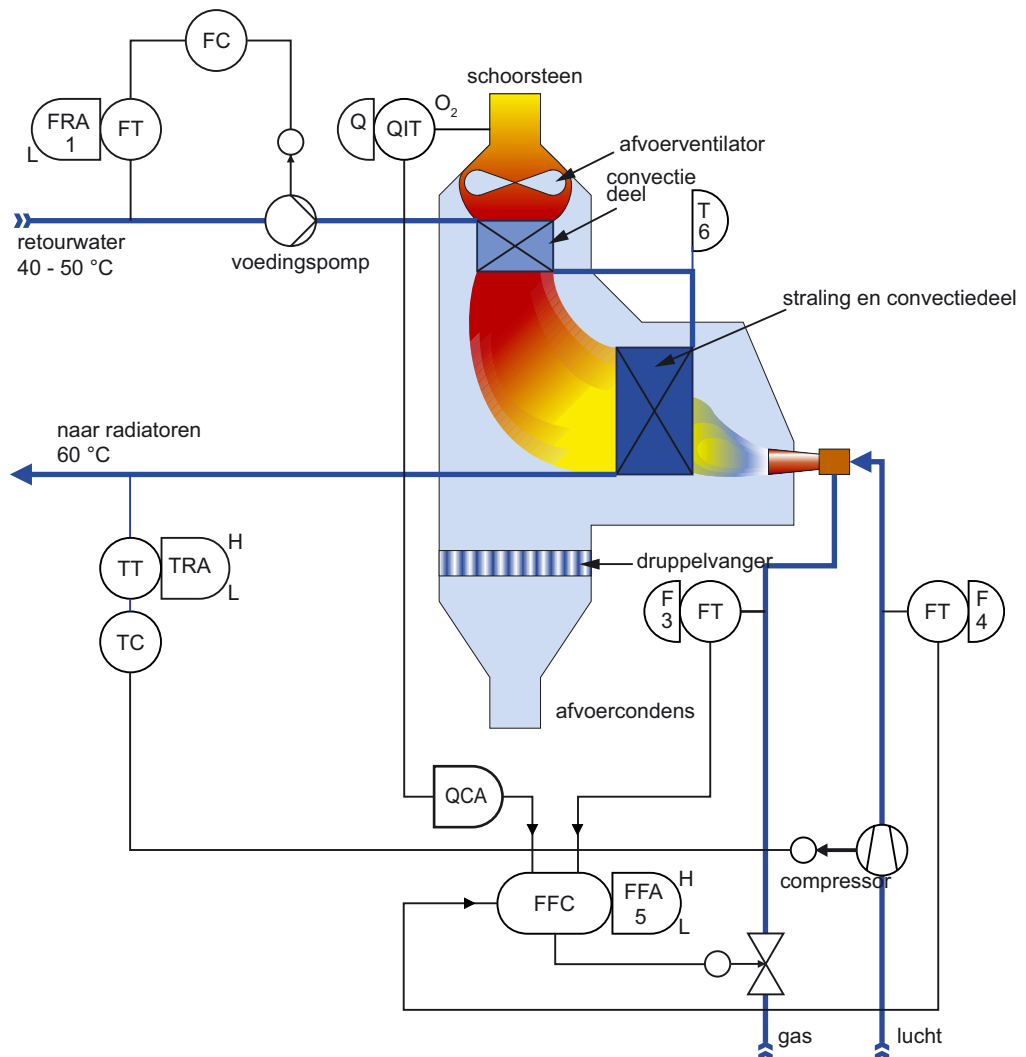
Combinatie symbolen procescomputer / conventionele apparatuur	
Symbol	Omschrijving/toepassing
	<p>Meetpunt voor de procescomputer. Het gaat hier om een temperatuurmeting op het meetpunt 1.</p>
	<p>Meetpunt voor de procescomputer. Het gaat hier om een flowmeting op het meetpunt 4.</p>
	<p>Meetpunt 7 voor de procescomputer. De computer krijgt de meetwaarde en geeft een alarm (hoog en laag) op het beeldscherm.</p>
	<p>Meetpunt 110 in fabriek 8. De computer kan niet alleen de meetwaarde en het laag alarm op het beeldscherm zetten maar ook een trendplaatje, zoals een recorder dat doet, in dit geval voor de temperatuur.</p>
	<p>Hier regelt de procescomputer zelf. Wanneer de computer uitvalt, neemt een standaardregelaar het automatisch over. Deze is zoals het symbool aangeeft, niet op een centraal paneel ondergebracht.</p>

Figuur 50 P&I-schema symbolen voor instrumentatie aangesloten op procescomputersysteem

Voorbeeldschema met procescomputersysteem

Nadat de eerder in dit hoofdstuk besproken CV-ketel enige jaren heeft gedraaid, wordt de hele fabriek geautomatiseerd. Ook de CV-installatie wordt op de nieuwe procescomputer van het gebouwbeheersysteem aangesloten.

Figuur 51 is het nieuwe schema van de ketelregeling, uitgevoerd met standaardapparatuur en een procescomputer.



Figuur 51 CV-regeling met computerregistratie

De standaard-flowopnemer heeft een computermeetpunt 1. Deze opnemer geeft niet alleen de meetwaarde op een beeldscherm maar ook een laag alarm voor het geval de flow te laag wordt. Tevens maakt de procescomputer een beeldplaatje van de meetwaarde, zoals een recorder zou doen.

De regeling voor de vaste verhouding van het gas en de zuurstof heeft een extra regelaar die deze verhouding aanpasbaar maakt. Deze bepaalt de kwaliteit van de rookgassen (percentage zuurstof) en stelt aan de hand daarvan de verhouding gas/zuurstof bij. Dit is zinvol als de kwaliteit van het stookgas niet constant is, of wanneer de brander vervuild raakt.

Opgaven

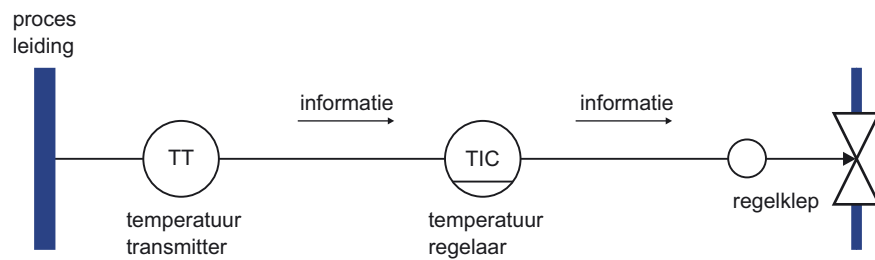
35. Beschrijf de toevoeging aan de temperatuurregeling.
36. Wat zou de functie kunnen zijn van meetpunt 6?
37. De procescomputer heeft hier slechts één regelfunctie, welke?
38. Wat is de functie van de letters H en L van meetpunt 5?

Hoofdstuk 3 Signaaltransport

Transportmiddelen en verbindingen

Bij het overbrengen van gemeten procestemperatuur naar een regelaar is er sprake van informatietransport tussen de temperatuurtransmitter en de regelaar. Zie **figuur 53**.

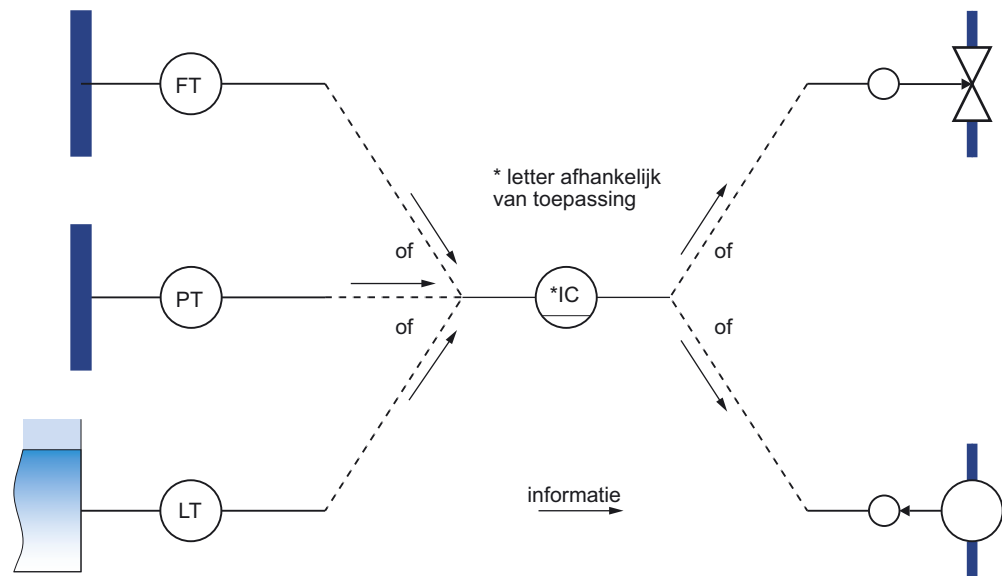
Hetzelfde geldt voor de verbinding tussen de regelaar en het corrigerend orgaan zoals de regelklep uit **figuur 53**.



Figuur 53 Informatietransport tussen meet- en regelcomponenten

Bij de temperatuur opnemer bestaat de informatie uit de gemeten temperatuur en bij de klep uit een bepaalde waarde voor de klepopening die door de regelaar wordt gedicteerd. Om componenten universeel met elkaar te kunnen koppelen is al ver in het verleden een zekere standaardisatie aangebracht in de vorm waarin informatie wordt

overgebracht. Hierdoor is het mogelijk dat de standaardregelaar uit **figuur 54** ingezet kan worden voor zowel een temperatuurregeling als een flow, druk, niveau of wat voor regeling dan ook.



Figuur 54 Standaardisatie van signalen leidt tot een hoge inzetbaarheid en flexibiliteit

Om standaardisatie te bereiken zijn er in de praktijk afspraken gemaakt hoe en in welke vorm de informatie overdracht moet plaatsvinden. Hierbij is sprake van een wereldwijde normalisatie waardoor opnemers van het ene merk naadloos kunnen aansluiten bij regelaars van een totaal ander merk.

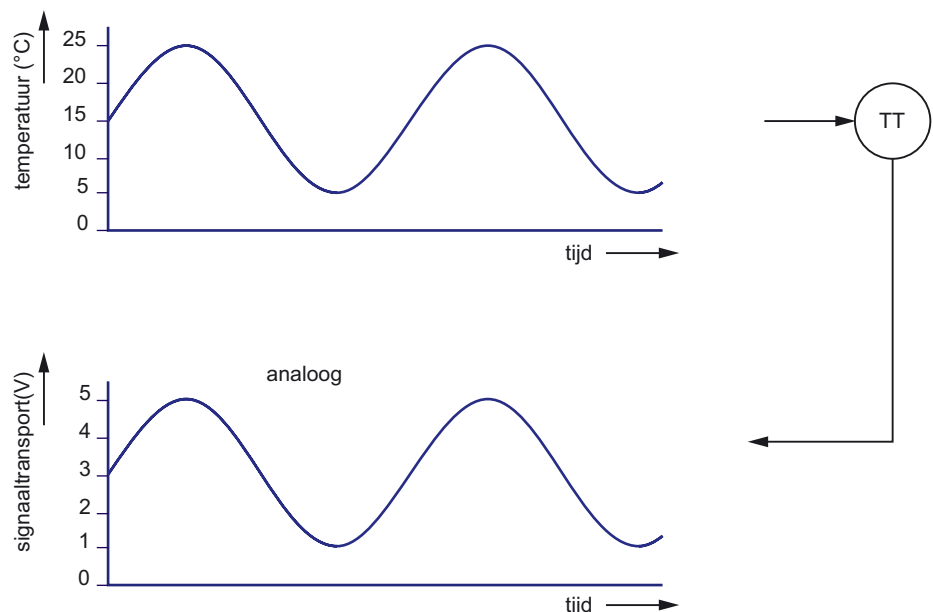
Voor het overbrengen van informatie bestaan verschillende uitvoeringsvormen van transportmiddelen, die ook wel informatiedragers worden genoemd. Zie tabel uit **figuur 55**.

Transportmiddelen (informatie dragers)	Transportverbindingen
Mechanisch: door bewegingen	Stangen, katrollen met kabel, hefbomen, etc.
Elektrisch: door middel van stroom, spanning	Draad, al of niet afschermd kabel, lintkabel, coaxkabel, etc.
Optisch: door middel van licht	Glasfiberkabel
Pneumatisch: door middel van perslucht	Luchtslangen of leidingen
Hydraulisch door middel van vloeistof (olie)	Leidingen

Figuur 55 Indeling van transportmiddelen met bijbehorende verbindingen

De transportverbindingen zorgen hierbij voor de fysieke verbinding tussen de apparatuur onderling. Zoals bijvoorbeeld stangen, draad en hefbomen. In de praktijk komt van de verschillende in **figuur 55** genoemde media de elektrische uitvoering het meeste voor. Terwijl de ontwikkeling van optische systemen en de toepassing daarvan in de praktijk snel

uitbreidt. Binnen de elektrische en optische verbindingen is nog weer een onderverdeling te maken in drie verschillende signaalformen: analoog, digitaal en binair. We zullen deze drie vormen behandelen aan de hand van een slingerende temperatuurwaarde, zie **figuur 56**.



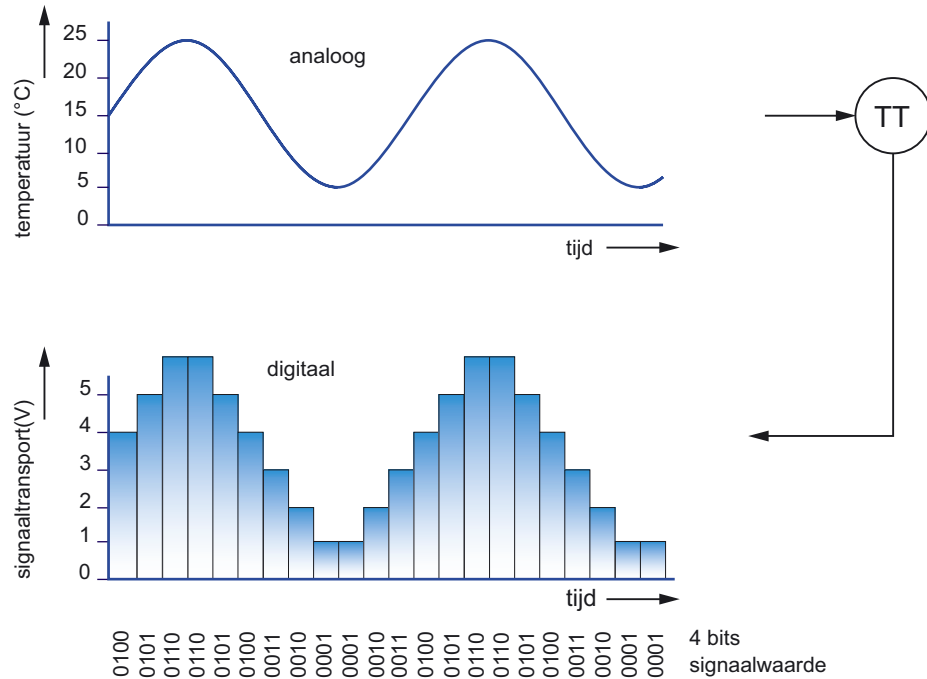
Figuur 56 Analoge signaalform bij informatieoverdracht

Bij een **analoge signaalform** is het informatietransport een één op één vertaling van het oorspronkelijke signaal. Wanneer bijvoorbeeld de gemeten temperatuur in een sinusvormige beweging varieert tussen de 5 °C en 25 °C, dan vertoont de informatie een gelijkvormige verandering in spanning, stroom. In de praktijk is een analoog signaal nog de meest voorkomende signaalform. Wanneer we

bijvoorbeeld over een 0 tot 5 volt verbinding spreken kan het signaal daarbij alle waarden aan nemen tussen de 0 volt en de 5 volt. Dus ook 1 volt om bijvoorbeeld 5 °C aan te geven en 5 volt om 25 °C weer te geven. De temperatuurtransmitter zet hierbij de temperatuur om naar een standaard-signaal.

Bij een **digitaal signaalvorm** wordt het oorspronkelijk temperatuursignaal omgezet in een serie van nullen en éénen zie **figuur 57**. Dit omzetten gebeurt door een analoog/digitaal (A/D) omvormer. Door de verschillende combinaties van nullen en éénen in een serie kan ieder gewenste getalwaarde worden verkregen. Het aantal nullen en éénen in een serie is gestandaardiseerd, 8

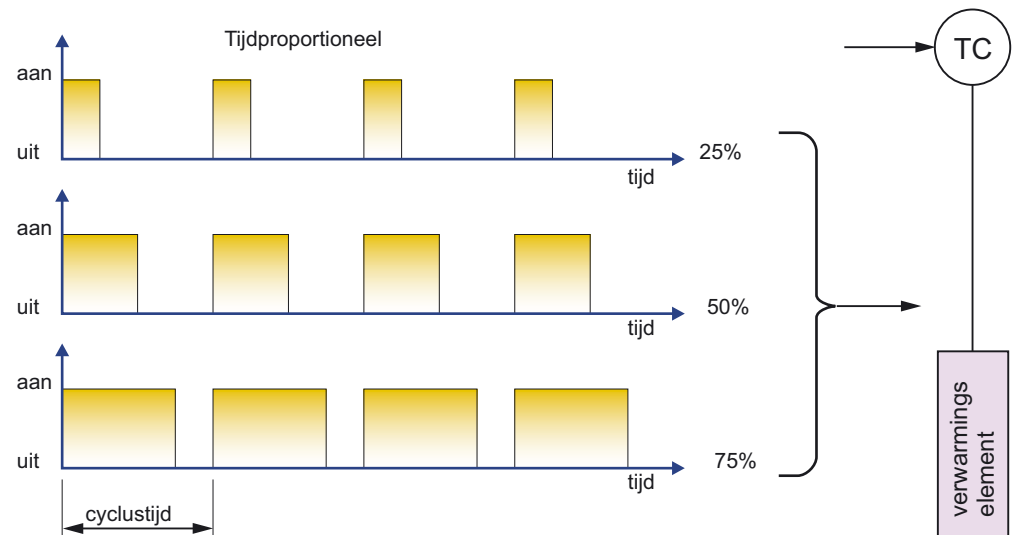
nullen/éénen wordt dan een 8 bits signaal genoemd. Er zijn signalen met meer dan 8 bits, bijvoorbeeld 16 of 32 bits. Dit gestandaardiseerde signaal kan door alle digitaalwerkende apparatuur (computer) worden verwerkt.



Figuur 57 Digitale signaalvorm bij informatieoverdracht

Een **binair signaal** kent twee waarden; aan of uit ook wel één of nul genoemd. Met dit signaal kan bijvoorbeeld een verwarmingselement worden aan- of uitgeschakeld afhankelijk van de temperatuurwaarde. Dit wordt in de praktijk ook wel een aan/uit-regeling genoemd. Door in een bepaald tijdsinterval de

verhouding tussen aan en uit te variëren wordt het verwarmingselement langere of kortere tijd ingeschakeld om de temperatuur te corrigeren zie **figuur 58**.



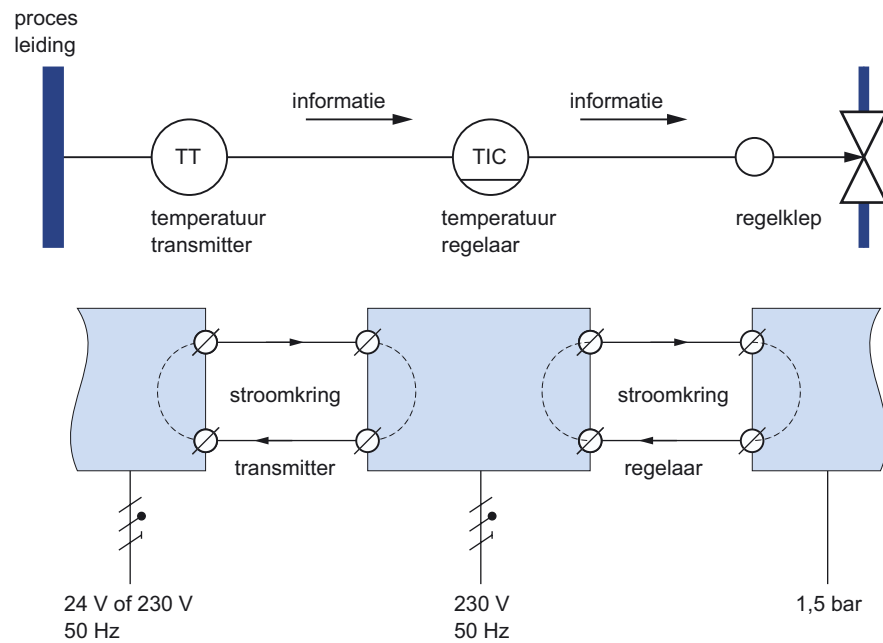
Figuur 58 Informatieoverdracht door een in tijd variërend binair (tijdproportioneel) signaal

Opgaven

39. Er is al gesproken over A/D-omvormers. Wat voor signaalomvormers zijn er nog meer mogelijk als u kijkt naar de tabel in **figuur 55**.
40. Is er bij de verbinding tussen een printer en een computer sprake van een analoge of digitale informatieoverdracht?
41. Bij een éénbits signaal kan een analoge meetwaarde van 4-20 mA alleen maar worden omgezet in een 0 of een 1. Waarom geeft een achtbits signaal dan een nauwkeuriger weergave van het oorspronkelijke analoge meetsignaal?
42. Hoe ziet in **figuur 58** het signaal eruit als de oven 100% moet worden ingeschakeld?
43. Waarom wordt de aansturing volgens **figuur 58** alleen toegepast voor relatief trage processen en niet voor bijvoorbeeld het aansturen van een regelklep bij een flowregeling?

Elektrische informatie overdracht

In **figuur 59** is het eenvoudige P & I-schema uit **figuur 53** omgezet in een aansluitschema met daarin de onderlinge verbindingen die noodzakelijk zijn voor het informatie transport. Wat in vergelijking met **figuur 53** direct opvalt is de dubbele verbinding tussen de componenten onderling.

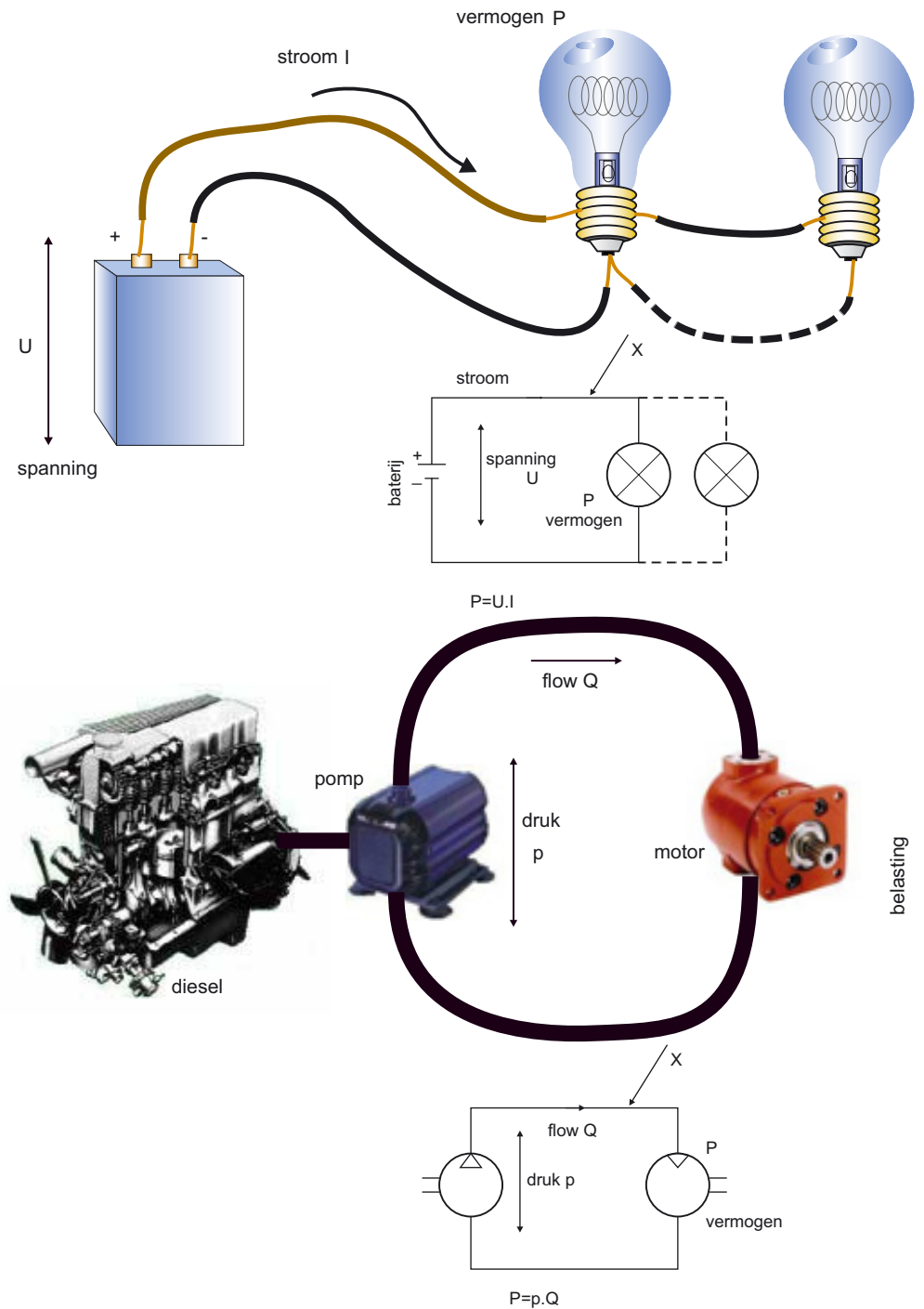


Figuur 59 Aansluitschema voor de temperatuurregeling uit **figuur 53**

Elektrische energie

Elektriciteit is net als wind een vorm van energie. Het verschil is echter dat deze in de natuur niet of nauwelijks vrij beschikbaar voorkomt. Daarom wordt meestal mechanische energie door een generator omgezet in elektrische energie. Deze energie komt dan via allerlei transportleidingen terecht op de plaatsen waar dit nodig is. Zoals bij u thuis het stopcontact en de lampen. De energie wordt dan gebruikt voor het direct omzetten in licht, warmte of bewegingen zoals bij een ingeschakelde motor. Omdat elektrische energie

gemakkelijk te transporteren is wordt deze ook gebruikt voor het doorsturen van informatie. Denk hierbij aan telefoonverbindingen, verbindingen tussen computers en in de noodzakelijke informatiestromen in de meet- en regeltechniek. Kenmerkend bij het overbrengen van informatie is de lage hoeveelheid energie die daar meegemoed is. Herkenbaar aan dunne draden.



Figuur 60 Vergelijking tussen een elektrische en een hydraulische energie keten

In **figuur 60** is de onderste afbeelding een hydraulische energie keten. Een dieselmotor drijft hierbij een hydraulische pomp aan, die olie verpompt. De olie die aan de bovenzijde de pomp verlaat wordt toegevoerd aan een hydraulische motor die daardoor gaat draaien en bijvoorbeeld een last in de vorm van een machine aandrijft. Kenmerkend is dat de olie, nadat er de energie voor de hydraulische motor aan is onttrokken, terug gaat naar de pomp om opnieuw op druk gebracht te worden door de hydraulische pomp.

In de bovenste afbeelding wordt de elektrische energie opgewekt door een batterij in plaats van een generator. Hierbij wordt door een chemische reactie tussen twee geleiders onder invloed van een zuur een spanning opgewekt die in stand blijft totdat één van de materialen volledig in het zuur is opgelost of voortijdig gaat lekken waardoor het zuur ontsnapt. Deze spanning is vergelijkbaar met de druk bij een hydraulisch systeem. Er wordt pas vermogen geleverd aan de lamp als er ook een stroom gaat lopen. Net als bij een hydraulisch systeem geldt dat het vermogen P gelijk is aan de vermenigvuldiging tussen de spanning U (druk) en de stroom I (flow). Bij de ontlading van de batterij komen er onzichtbare deeltjes (elektronen) vrij die zich door bepaalde materialen kunnen verplaatsen. Deze materialen worden geleiders genoemd omdat deze onzichtbare deeltjes zich hierdoor kunnen verplaatsen. Net als een slang voor hydrauliek. Deze deeltjes geven hun energie af in de lamp en worden omgezet in warmte en licht. Daarna moeten de deeltjes weer terug naar de energiebron (batterij) om opnieuw opgeladen (onder spanning gebracht) te worden. Knippen we in **figuur 60** beide circuits door bij de letter X, dan ontstaat er toch een klein verschil. Immers olie heeft geen slang nodig en veroorzaakt even een plas tot dat de olie op is. De onzichtbare deeltjes uit de batterij hebben echter een geleider nodig en de lucht bij de breuk is dit niet. De elektrische stroom stopt daarom en dat is maar goed ook want anders lag er onder ieder niet gebruikt stopcontact een aardige bult elektronen.

Opgaven

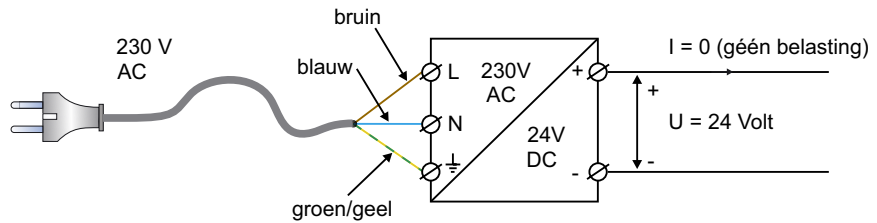
44. In **figuur 60** is er sprake van een druk en van een flow. Stel dat de last van de motor zo groot is dat deze niet kan draaien. Is er dan nog sprake van een flow?

45. Stel dat de oliedruk constant is en de motor een last met een bepaald toerental aandrijft. Wat gebeurt er met het toerental als de belasting toeneemt?
46. Ondervindt de oliestroom nu juist veel weerstand bij een zwaar of juist bij een licht belaste hydraulische motor?
47. Kan er in **figuur 60** een oliestroom lopen als de druk van de pomp nul bar is?
48. Stel in **figuur 60** blijft de batterij een constante spanning leveren. Wanneer vloeit er nu de meeste stroom, bij één ingeschakelde lamp of bij twee lampen als belasting?
49. Stel dat de lamp vervangen wordt voor een type met meer vermogen. Vraagt deze dan minder of juist meer stroom?
50. Stel dat de lamp vervangen wordt voor een type met meer vermogen. Heeft deze lamp dan een hogere of juist lagere weerstand voor de stroom?

Netvoeding

Zonder nu een elektrotechnicus van u te willen maken is een zekere kennis van elektrotechniek voor dit vak noodzakelijk. Met name omdat praktisch alle onderlinge verbindingen

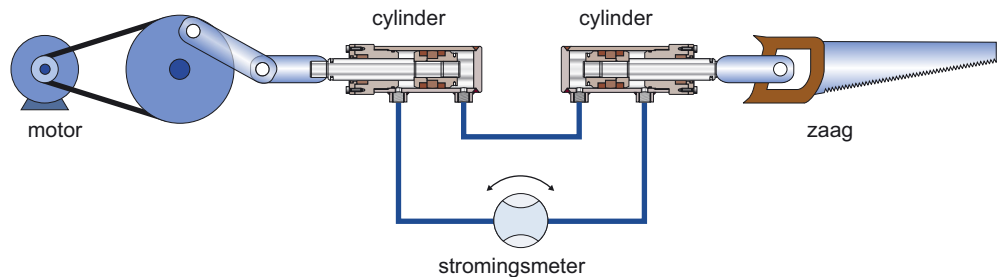
tussen meet- en regelcomponenten elektrisch zijn. Enig gevoel voor elektrotechniek is dan ook een must. Ook de wet van Ohm vormt daarvan een onderdeel.



Figuur 61 Elektrische voeding voor apparatuur

De batterij in **figuur 60** heeft een beperkte levensduur. In de meet- en regeltechniek wordt daarom gewerkt met een elektrische voeding. Deze maakt uit de netspanning van 230 volt uit het stopcontact door middel van allerlei onderdelen de voor ons benodigde spanning voor het signaaltransport. In dit geval 24 volt. Zie **figuur 61**.

De netspanning is een zogenaamde wisselspanning en veroorzaakt een wisselstroom door een gebruiker. Om aan te geven dat het om een wisselstroomaansluiting op een meet- en regelcomponent gaat gebruikt men de letters AC (Alternating Current). Hierbij wisselt de plus en min en daarmee de stroomrichting 50 keer per seconde om. Zie **figuur 62** voor een mechanische/hydraulisch model hiervan.



Figuur 62 Mechanische/hydraulische voorstelling van het begrip wisselspanning

De informatiestromen in de meet- en regeltechniek zijn altijd gelijkstroom waarbij de stroomrichting constant is net als bij een batterij. De daarbij gebruikte spanning heet dan gelijkspanning en de stroom die door de gebruikers loopt een gelijkstroom. Vaak weer aangegeven met de letters DC (Direct Current).

In **figuur 61** wordt de spanning uit het stopcontact, die gevoed wordt uit het elektriciteitsnetwerk, de netspanning genoemd. In principe zijn daar maar twee aansluitingen voor nodig. In dit geval de blauwe en bruine draad. Omwille van de veiligheid komt daar nog een derde bij. De zogenaamde aarde die een gestandaardiseerde groen/gele kleur heeft. Op de apparatuur wordt de aansluiting waar de blauwe draad op wordt aangesloten aangegeven met de letter N. De aansluiting

voor de bruine draad met de letter L en de aansluiting voor de veiligheidsaarde met de letters PE of het in **figuur 61** afgebeelde symbool.

Opgaven

51. Geef in eigen bewoording het verschil aan tussen een wissel- en een gelijkstroom.
52. Levert de autoaccu gelijk- of wisselstroom?
53. De uitgangsspanning van de voeding uit **figuur 61** bedraagt 24 volt. De spanning van een batterij cel meestal 1,5 volt. Door het gebruik van meerdere batterijen waarbij de plus van de één verbonden is met de min van de volgende kan een

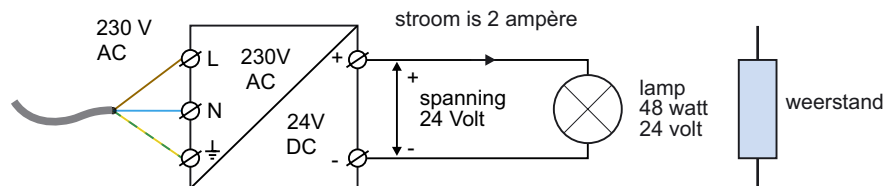
hogere spanning verkregen worden.
Hoeveel batterijen van 1,5 volt heeft u
nodig voor het realiseren van in totaal 24
volt?

- 54.** Waarom is het aanraken van een batterij
van 1,5 volt ongevaarlijk en kan afhan-
kelijk van de omstandigheden de
netspanning dodelijk zijn?

De wet van Ohm

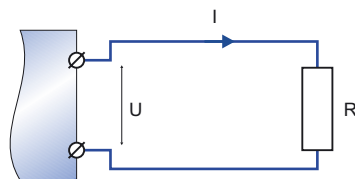
Figuur 63 geeft het schema weer van een netvoeding met een belasting in de vorm van een lampje. De spanning (vergelijkbaar met de druk in een hydraulisch systeem) bedraagt 24 volt. De stroom die de lamp gebruikt wordt uitgedrukt in ampère. Een elektrotechnische vakterm en vergelijkbaar met de flow in m^3/s of liters per minuut. Ampère wordt meestal afgekort met de letter A terwijl volt wordt afgekort met V.

Het lampje kan gezien worden als een soort leidingweerstand zoals een smoring (vernauwing) in het hydraulische systeem een weerstand vormt van de oliestroom. Zie **figuur 64**. We spreken echter niet over leidingweerstand maar kortweg weerstand. De weerstand kent onafhankelijk of het nu een lampje, motor, of wat voor soort gebruiker het ook is een vast schemasymbool. Zie nogmaals **figuur 63** en **figuur 64**.



Figuur 63 Voeding met belasting

In **figuur 64** is nogmaals het schema van **figuur 63** getekend maar nu met het schemasymbool voor een weerstand.



Figuur 64 Schematische voorstelling van de wet van Ohm

Deze schakeling vertoont een vaste relatie tussen spanning (U), stroom (I) en weerstand (R). Deze is vastgelegd in een wet en genoemd naar de ontdekker hiervan de heer Ohm.

Deze wet is gebaseerd op de volgende eigenschappen:

- Als de weerstand hoger (groter) wordt neemt de stroom af. Uitgaande van een constante spanning.
- Als de spanning hoger wordt neemt de stroom toe. Uitgaande van een constante weerstand.

De Wet van Ohm kan ook in formulevorm worden geschreven:

$$I = \frac{U}{R} \quad \text{hierbij geldt:} \quad \begin{array}{l} I = \text{stroom} \quad \text{in ampère (A)} \\ U = \text{spanning} \quad \text{in volt (V)} \\ R = \text{weerstand} \quad \text{in ohm } (\Omega) \end{array}$$

Er zijn nog twee manieren om de Wet van Ohm op te schrijven namelijk:

$$U = I \times R \quad \text{en} \quad R = \frac{U}{I}$$

Met een rekenvoorbeeld waarin $U = 12 \text{ V}$, $I = 3 \text{ A}$ en $R = 4 \Omega$ wordt dat:

$$3 = \frac{12}{4} \quad \text{of} \quad 12 = 3 \times 4 \quad \text{en} \quad 4 = \frac{12}{3}$$

Figuur 65 De wet van Ohm

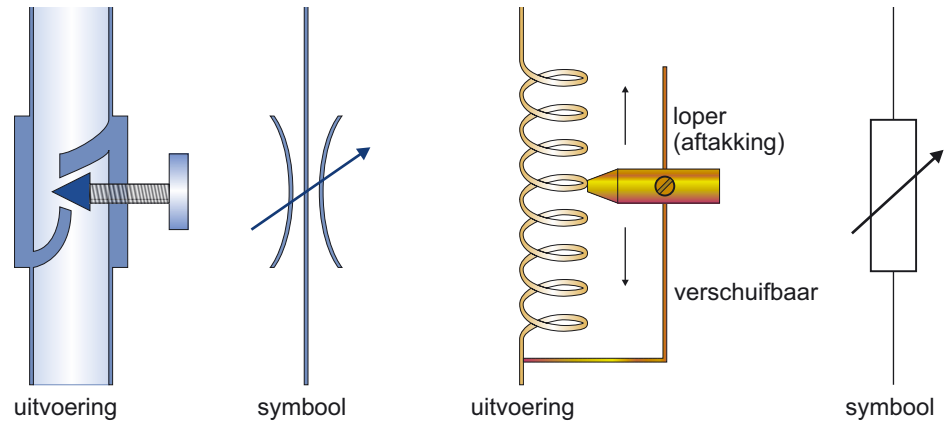
Opgaven

55. De weerstand uit **figuur 64** wordt vervangen door een type met een twee maal zo grote weerstand. Wat voor invloed heeft dit op de stroom?
56. Wat is de weerstand in **figuur 63** van de lamp?

Variabele weerstanden

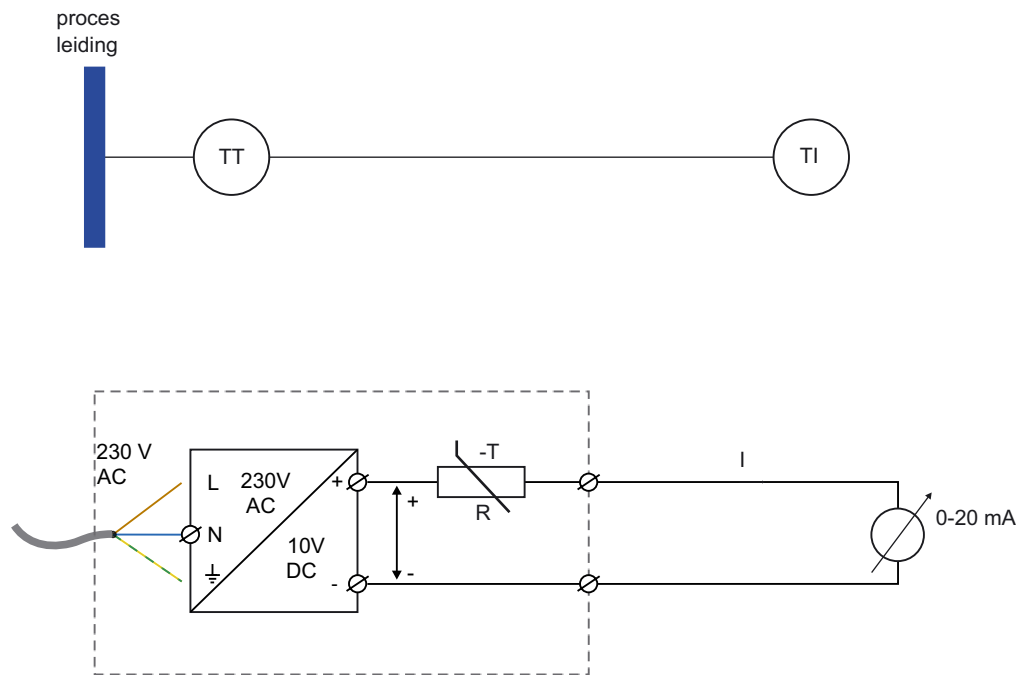
Behalve vaste weerstanden bestaan er ook variabele weerstanden. De meest bekende is met de hand instelbare weerstand. Voor de laatste keer is hierbij de vergelijking gemaakt met een hydraulisch/pneumatisch equivalent. Zie **figuur 66**.

Er zijn ook variabele weerstanden met een verandering die afhangt van bijvoorbeeld een gemeten temperatuur of druk. Dit maakt dergelijke weerstanden geschikt voor het gebruik in een transmitter als maat voor een gemeten temperatuur of druk.



Figuur 66 Principe werking van variabele weerstanden

Praktische
toepassing van
een weerstand in
een temperatuur
opnemer



Figuur 67 P & I- schema en elektrische schema van een temperatuurmeting

Figuur 67 geeft een toepassing van een temperatuurgevoelige weerstand voor het omzetten van een temperatuur in een meetwaarde.

In werkelijkheid bevat een temperatuurtransmitter een veelvoud aan onderdelen voor het verkrijgen van een hoge nauwkeurigheid

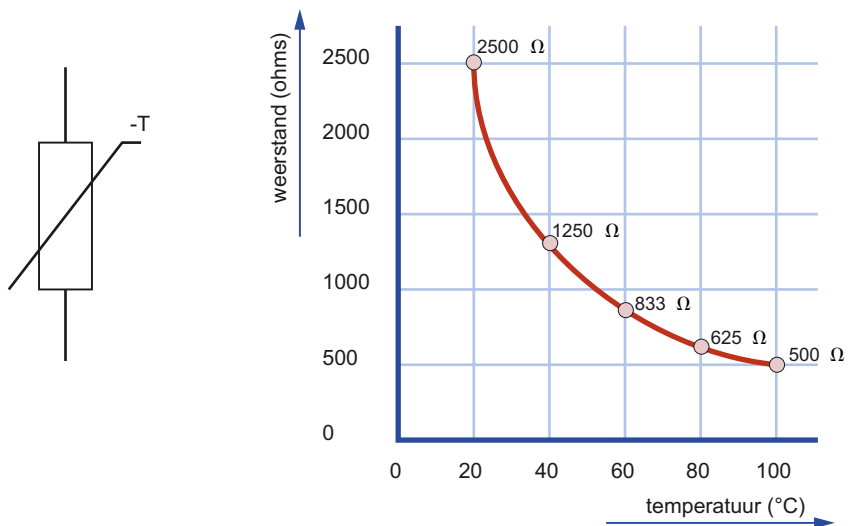
In **figuur 67** bestaat de temperatuurtransmitter uit een voeding van 10 volt en een temperatuur gevoelige weerstand. De voedingsspanning van 10 volt is lager dan de 24 volt á 60 volt die in de industrie gebruikelijk is. Toch is hiervoor gekozen om de eigen opwarming van de temperatuur- opnemer te voorkomen en er makkelijk aan te kunnen rekenen. Het meetinstrument bestaat uit een draaispoelmeter. Zie ook **figuur 68**. Deze bestaat intern uit wat koperdraad. Stroom door een draad veroorzaakt een magnetisch veld. Doordat het magnetische veld recht evenredig is met de stroom, is door de koppeling van dat magnetische veld met de wijzer, op eenvoudige wijze een nauwkeurig meetinstrument te verkrijgen. Door wijzigingen van de in de meter gebruikte voorschakel en/of parallelweerstand kan de fabrikant eenvoudig een ander meetgebied realiseren. Hetzelfde geldt voor de schaal. Hij kan de schaal iken in bijvoorbeeld milliampère (1/1000 van een A) maar ook in graden Celsius.



Figuur 68 Indicator met milli ampère meter

In **figuur 69** is de temperatuurgevoelige weerstand afgebeeld.

Tevens is een grafiek afgebeeld met de eigenschappen van deze weerstand.

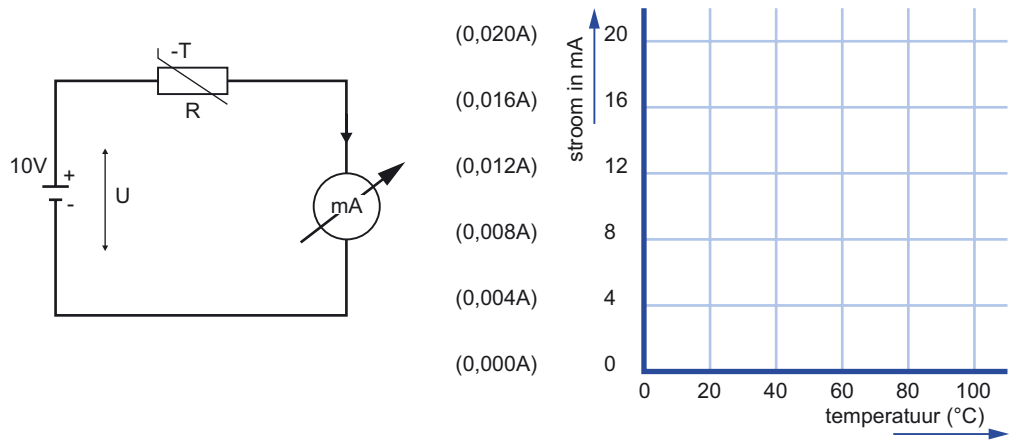


Figuur 69 Temperatuurgevoelige weerstand (NTC)

Opgaven

57. Wat is de weerstandswaarde volgens de grafiek van **figuur 69** wanneer de weerstand aan een temperatuur wordt blootgesteld van 20 °C?
58. Neemt bij deze weerstand de weerstandswaarde af of juist toe bij een stijgende temperatuur?
59. Hoeveel stroom gaat er in **figuur 67** door de meter als de gemeten temperatuur 20 °C bedraagt? De weerstand van de draden naar de meter en van de aangesloten meter zelf mag u hierbij verwaarlozen. Gebruik hiervoor de wet van Ohm.
60. Geef de door u berekende waarde door middel van een punt aan in de grafiek van **figuur 70**
61. Herhaal de stroom berekening voor temperaturen van 100 °C, 40 °C en 80 °C en teken deze in de grafiek van **figuur 70**.

62. Verbind de punten uit **figuur 70** tot een vloeiende lijn en u verkrijgt de overdrachtskarakteristiek van de transmitter.
63. Stel u wilt dat de meter rechtstreeks de temperatuur aangeeft. Welke temperatuur moet u dan op de schaal noteren als de meter maximaal en tot de helft hiervan uitslaat?
64. Wat kan er bij sommige milliampère meters gebeuren als u de plus en de min omdraait?

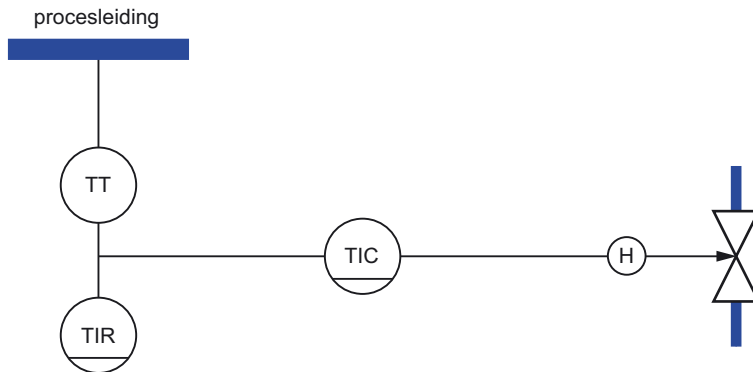


Figuur 70 Overdrachtskarakteristiek van de temperatuurtransmitter

Serie- en parallelschakelingen

Bij de temperatuur regeling uit **figuur 52** waarvan in **figuur 71** nogmaals het P & I-schema is afgebeeld wordt het lastig wanneer één transmitter meerdere gebruikers moet aansturen zoals een regelaar en een indicator/schrijver.

In de praktijk bestaan hiervoor twee systemen, namelijk de serie- en parallelschakeling.

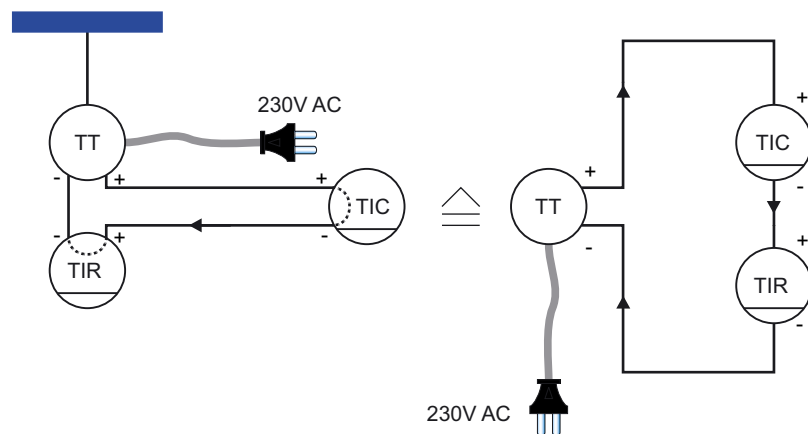


Figuur 71 P & I- schema van een temperatuur regeling

Serieschakeling-stroomsturing

Bij de zogenaamde serieschakeling zijn de aan te sturen meet- en regelcomponenten achter elkaar geschakeld. Wat niet weg neemt dat de stroom altijd weer bij de bron (in dit geval de temperatuurtransmitter) dient terug te keren. Zie **figuur 72**.

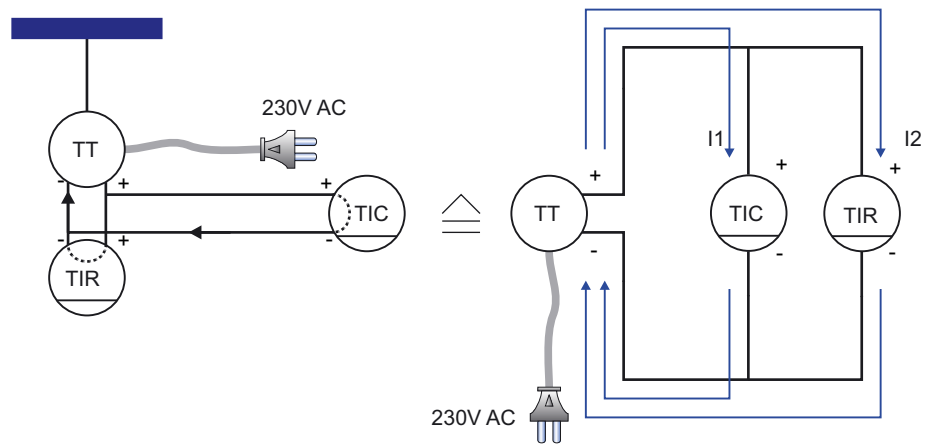
De stroom door alle in serie geschakelde componenten is hetzelfde. De stroom gaat een component in, maar ook weer uit op weg naar de volgende, waarbij bij het aansluiten rekening gehouden moet worden met de stroomrichting. Dit om te voorkomen dat een instrument, bijvoorbeeld de indicator, de verkeerde kant opslaat en mogelijk defect raakt.



Figuur 72 Stroomsturing met in serie (achter elkaar) geschakelde componenten

Parallelschakeling-spanningssturing

Bij parallelschakeling krijgen alle instrumenten hun eigen stroom. Zie **figuur 73**.



Figuur 73 Spanningssturing met parallel (naast elkaar) geschakelde componenten

Omdat niet alle instrumenten dezelfde weerstand hebben zullen ze ieder afzonderlijk hun eigen stroom opnemen, die niet aan elkaar gelijk hoeft te zijn. De waarden zouden daardoor per instrument verschillend kunnen zijn. Bij parallel is dan ook niet de stroom bepalend voor het meetresultaat maar de spanning. De transmitter zet de gemeten temperatuur dan ook om in een spanning en niet in een stroom.

Componenten voor spannings- en stroomsturing kunnen niet zonder meer door elkaar gebruikt worden. Meestal is hiervoor een interne of externe aanpassing nodig terwijl op sommige andere apparatuur beide systemen beschikbaar zijn. Let goed op hoe u de instrumenten aansluit omdat hierdoor instrument anders vernield kan worden.

Opgaven

65. Stel dat de indicator/schrijver uit **figuur 72** verwijderd moet worden voor revisie. Het proces moet echter wel door gaan. Hoe dient u nu te handelen opdat het proces gewoon doorgaat en niets gemerkt wordt van verwijdering van de indicator/schrijver?
66. Stel dat de indicator/schrijver uit **figuur 73** verwijderd moet worden voor revisie. Het proces moet echter wel door gaan. Hoe dient u nu te handelen opdat het proces gewoon doorgaat?

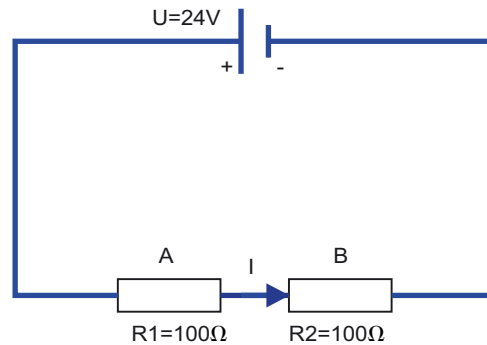
Serieschakelingen

In **figuur 74** zijn twee weerstanden van $100\ \Omega$ in serie geplaatst. De stroom van A naar B moet eerst door weerstand R_1 en daarna door weerstand R_2 .

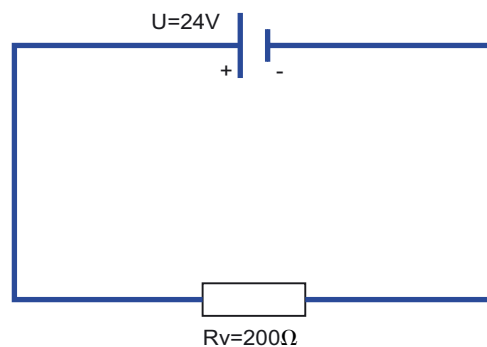
Dus eigenlijk is de weerstand tussen A en B:

$$R_1 + R_2 = R_v = 100 + 100 = 200\ \Omega$$

Deze $200\ \Omega$ wordt ook vervangingsweerstand genoemd. Zie **figuur 75**.



Figuur 74 Serieschakeling met twee weerstanden



Figuur 75 Vervangingsweerstand

De stroomsterkte is nu te berekenen:

$$I = \frac{U}{R_v} = \frac{24}{200} = 0,12\ \text{A}$$

De stroom die van A naar B gaat is $0,12\ \text{A}$. Deze stroom gaat zowel door weerstand R_1 als door weerstand R_2 . Het spanningsverschil over A en B is $24\ \text{V}$ (over weerstand R_1 en R_2). Het spanningsverschil over weerstand R_1 moet dus kleiner zijn. Dit kan weer met behulp van de wet van Ohm worden uitgerekend.

- $U_1 = I \times R_1 \quad U_1 = 0,12 \times 100 = 12\ \text{V}$

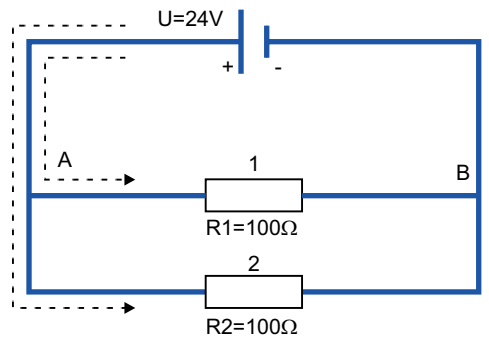
- U_2 is dan ook $12\ \text{V}$, want $U_1 + U_2$ moeten immers weer $24\ \text{V}$ zijn!

Voor seriegeschakelde weerstanden of apparatuur geldt altijd:

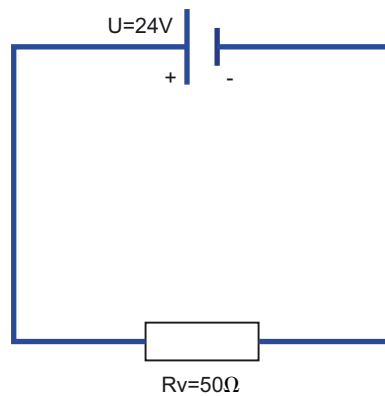
- $U_{\text{totaal}} = U_1 + U_2 + U_3$ enz.
- $R_v = R_1 + R_2 + R_3$ enz.
- De stroom vloeit zowel door R_1 als door R_2 als door R_3 enz.
- Dus de stroomsterkte $I_{\text{totaal}} = I_1 = I_2 = I_3$ enz.

Parallelschakelingen

Naast het in serie schakelen van componenten is het ook mogelijk componenten parallel (naast elkaar) te schakelen. Zie **figuur 76**. Doordat tussen A en B twee (gelijke) weerstanden 1 en 2 parallel staan, kan de stroom zowel door apparaat 1 als door apparaat 2 vloeien. Realiseert u zich goed wat er aan de hand is. Zou er één weerstand zijn, dan zou de stroom in z'n geheel daar doorheen moeten. Nu zijn er twee en nog wel naast elkaar geplaatst.



Figuur 76 Parallelschakeling met twee weerstanden



Figuur 77 Vervangingsweerstand

De weg, die de stroom moet volgen, wordt als het ware tweemaal zo breed. De weerstand die hij daarbij ondervindt, is dan ook maar de helft van de weerstand, die de stroom in een enkele weerstand ondervindt. De vervangingsweerstand is maar $R_v = 50 \Omega$. Zie **figuur 77**.

De spanning van 24 V staat bij deze parallelschakeling zowel over R_1 als over R_2 en is dus in beide gevallen 24 V. Berekening van de stroomsterkte I over de vervangingsweerstand R_v is als volgt:

$$I_v = \frac{U}{R_v} \quad I_v = \frac{24 \text{ V}}{50 \Omega} = 0,48 \text{ A}$$

Door R_v gaat dus een stroom van 0,48 A.

Met andere woorden, er gaat door de voedingsleiding 0,48 A. Omdat R_1 en R_2 gelijk zijn, zal door ieder van de weerstanden de helft van 0,48 A dus 0,24 A moeten gaan.

Voor Parallelgeschakelde weerstanden of apparatuur geldt altijd:

- $U_{\text{totaal}} = U_1 = U_2 = U_3$ enz.
- $I_{\text{totaal}} = I_1 + I_2 + I_3$ enz.

De vervangingsweerstand bij parallelgeschakelde weerstanden is altijd kleiner dan de kleinste weerstand. De vervangingsweerstand kan men met de volgende formule berekenen:

$$\frac{1}{R_v} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Bij parallelschakelen is de spanning, die over alle parallelgeschakelde apparaten staat gelijk. De som van de (deel)stromen door alle apparaten is gelijk aan de totale stroom. Het parallelschakelen van componenten komt in de meet- en regeltechniek niet vaak voor.

Gestandaardiseerde analoge elektrische signalen

In **figuur 78** is een tabel afgebeeld met daarin de gestandaardiseerde signalen.

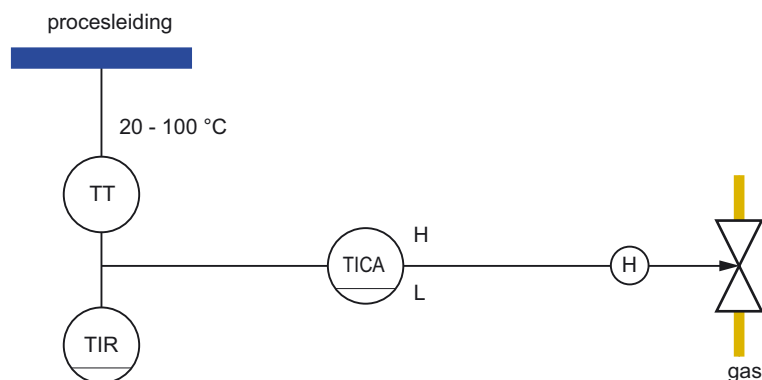
Om meet- en regelcomponenten met elkaar te kunnen verbinden en daarbij te kunnen kiezen uit verschillende merken is standaardisatie nodig. Deze bestaat al zeer lang, al is er sprake van meerdere systemen.

Elektronisch:	Wordt gebruikt in:	Dead zero	Live zero
a. 0 - 20 mA	Europa	X	
b. 4 - 20 mA	Europa / Engelstalige landen		X
c. 10 - 50 mA	Engelstalige landen		X
d. 0 - 5 volt	Europa	X	
e. 1 - 5 volt	Engelstalige landen		X
f. 0 - 10 volt	Duitsland	X	
g. 2 - 10 volt	Duitsland		X
Pneumatisch:	Wordt gebruikt in:		
a. 0,2 - 1,0 bar	Europa		X
20 - 100 kPa	SI standaard (gehele wereld)		X
b. 3 - 15 psi	Europa / Engelstalige landen		X
c. 6 - 30 psi	Engelstalige landen		X

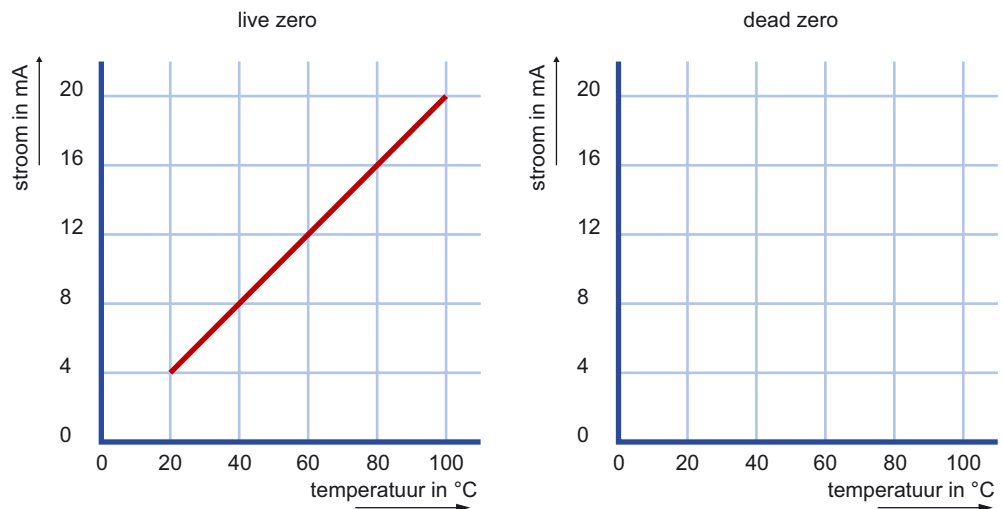
Figuur 78 Gestandaardiseerde signalen in de meet- en regeltechniek

In de laatste kolommen van deze tabel ziet u de kreet live zero en dead zero weergegeven. Plat vertaald een actief nul signaal (live zero) of een dood nulsignaal (dead zero). Het grote verschil tussen beide signalen wordt zichtbaar in het geval van een kabelbreuk. Bij stroomsturing van een keten zoals in **figuur 79** wordt de stroom bij kabelbreuk ongeacht de temperatuur die de transmitter meet, nul. De

regelaar kan nu denken dat de temperatuur 20 °C is, omdat de transmitterstroom 0 mA bedraagt en gewoon verder kan regelen alsof er niets aan de hand is. Bij een werkelijke temperatuur van 100 °C kan dit gevaarlijk zijn omdat dan de gasklep aangestuurd blijft.



Figuur 79 Dead of live zero signaal bij de temperatuurregeling van **figuur 52**



Figuur 80 Overdrachtskarakteristiek voor een live en dead zero signaal

Opgaven

67. Wat gebeurt er in **figuur 52** als de verbinding tussen transmitter en regelaar onderbroken raakt en de ketel al op 100 °C draait. Ga hierbij uit van een dead zero signaal van bijvoorbeeld 0 - 20 mA zoals in **figuur 79**.
68. Waarom reageert het hoogalarm van de regelaar niet op de 100 °C.
69. Wat gebeurt er in **figuur 52** en **figuur 79** als de verbinding tussen transmitter en regelaar onderbroken raakt en de ketel al op 100 °C draait. Ga hierbij uit van een live zero signaal van bijvoorbeeld 4 - 20 mA.
70. Wat kan hierbij de functie van het laag alarm zijn?
71. In **figuur 80** is een temperatuurtransmittersignaal getekend met een live zero signaal. Een temperatuurgebied van 20 tot 100 °C komt daarbij overeen met 4 - 20 mA. Teken zelf de karakteristiek voor een transmitter met hetzelfde meetgebied maar met een dead zero signaal van 0 tot en met 20 mA.
72. Stel dat de door de transmitters van **figuur 80** gemeten temperatuur 50 °C is. Wat is dan de bijbehorende uitgangswaarde in mA voor een live en dead zero systeem?
73. De regelkring uit **figuur 79** is uitgevoerd als live zero systeem. De indicator op de regelaar geeft 0 °C aan terwijl de transmitter dit helemaal niet kan meten. Geef hiervoor een verklaring.

Meetinstrumenten

Voor het meten van elektrische signalen wordt, naast de universeelmeter, in de meet- en regeltechniek enkele bijzondere testinstrumenten gebruikt. In de **figuur 82** en **figuur 81** vindt u er twee. De in **figuur 81** afgebeelde tester kan voor testdoeleinden stromen afgeven van 4, 5, 8, 12, 13, 16 en 20 mA. Daarmee is deze tester te vergelijken met een reduceerventiel voor het uittesten van pneumatische meet- en regelcomponenten. Het testapparaat is echter ook in staat om stromen te meten met een LED-indicatie voor de waarden. Het apparaat heeft een lineaire schaal van 4, 8, 12, 16 en 20 mA voor normale testdoeleinden. Daarnaast heeft het een speciale zogenaamde kwadratische schaal van 4, 5, 8, 13 en 20 mA voor het uittesten van flowopnemers waar een worteltrekfunctie bij nodig is.

Het in **figuur 82** afgebeelde testapparaat kan zowel gebruikt worden voor meet- en regelsystemen, die werken met standaardstroomsignalen als voor standaardspanningssignalen van 1 tot 5 V en van 2 tot 10 V. Daarnaast heeft deze tester een ingebouwde 24 V voeding voor het voeden van de tester, zender, regelaar, enz.



Figuur 81 Testapparaat



Figuur 82 Testapparaat

Digitale meetapparatuur

Het meten van de waarde van een digitaal signaal is lastiger omdat over één verbinding signalen van meerdere componenten kunnen lopen. De werkelijke waarde van het meet-signaal is ook nog verpakt in een pakketje waar ook andere informatie mee verstuurd wordt zoals bijvoorbeeld het adres van de betreffende opnemer en of het signaal van of naar deze component gaat.

Meestal wordt de signaalwaarde bekeken in het procescomputersysteem waar deze opnemer mee is verbonden. In dit computersysteem zit dan al de nodige hard- en software om het signaalpakketje te ontrafelen en de werkelijke meetwaarde als getal weer te geven.

Daarnaast zijn er wel speciale testers om de kwaliteit van het signaal en de bekabeling van een digitaal netwerk vast te stellen zie **figuur 83** en **figuur 84**. Door deze testapparatuur aan te sluiten op een laptop kan, met behulp van de noodzakelijke software, de werkelijk signaalwaarde worden bepaald.



Figuur 83 Tester voor digitale signaalverbinding

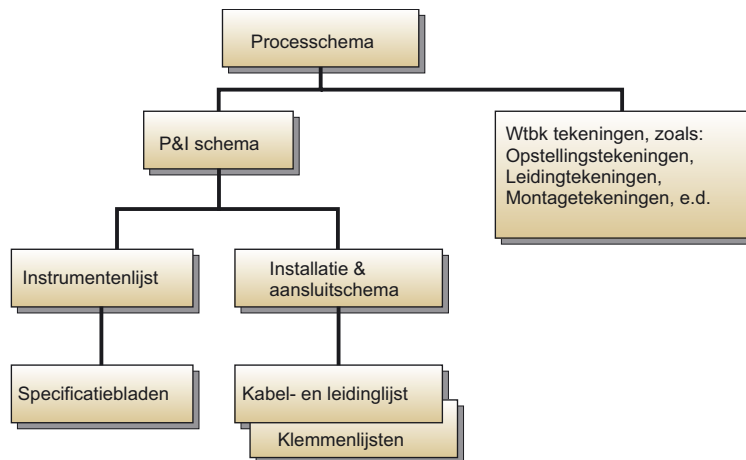


Figuur 84 Tester voor digitale signaalverbinding

Hoofdstuk 4 Installatie- en aansluit- schema's

Verschillende schema- technieken

Het gebruik van schema's en tekeningen is in de meet- en regeltechniek onmisbaar om storingen in het proces of instrumentatie op te lossen. Hiervoor zijn verschillende soorten schema's beschikbaar. Zie **figuur 85**.



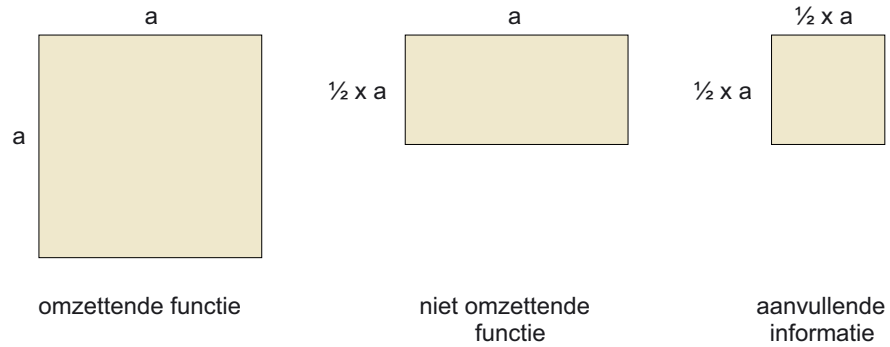
Figuur 85 Samenhang in veel gebruikte schema en tekeningen in de meet- en regeltechniek

De basis wordt hierbij gevormd door het P & I-schema. Deze geeft de samenhang weer tussen het proces en de daarbij gebruikte apparatuur en instrumentatie. Blijkt door analyse dat de storing in het proces veroorzaakt wordt door bijvoorbeeld een defecte pomp, verstopte warmtewisselaar of een foutief geopende bypassafsluiter, dan biedt het processchema nadere informatie over het proces en de daarbij gebruikte componenten zelf. Blijkt de storing te zitten in de instrumentatie dan is het P & I-schema veelal te grof. Een fijnere onderverdeling geeft het installatieschema, waarbij de onderlinge verbindingen tussen de meet- en regelcomponenten is weergegeven. Hierbij is de vorm van de signaaloverdracht bepalend voor de uitvoeringsvorm van de verbindingen. Bijvoorbeeld spannings- of stroomsturing met al of niet een dead/live zero signaal. Wanneer een verdacht onderdeel is getraceerd, ontstaat al snel de behoefte aan nadere informatie. Op welke aansluitingen moet het signaal binnenkomen of uitgaan. Waar moet je meten of het signaal daadwerkelijk aanwezig is of hoe kan je zien of een draad is losgeraakt van een bepaalde aansluiting. Dergelijke informatie wordt geboden door de zogenaamde aansluitschema's van apparatuur. Deze geven per component zoals een regelaar, een transmitter, enzovoort, de aansluitgegevens.

Het installatieschema

De basis voor de in het installatieschema gebruikte symboliek zijn vierkanten en rechthoeken. Hier is bewust voor gekozen als duidelijke herkenbare tegenhanger van de ronde vormen voor P & I- schema's. De gebruikte basisvormen zijn in **figuur 86**

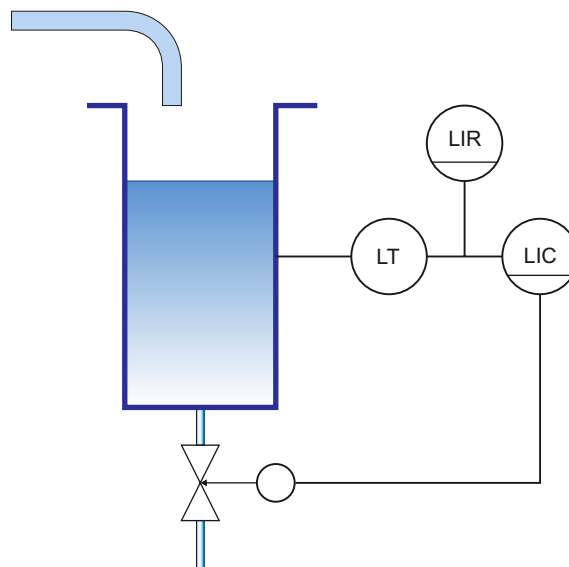
afgebeeld. De exacte afmetingen zijn niet voorgeschreven, echter wel de daarbij te gebruiken verhoudingen. We spreken hierbij van omzettende functies (bijvoorbeeld een transmitter) en niet omzettende of zogenaamde hulpfuncties.



Figuur 86 Basisfiguren voor installatieschema's

Ter verduidelijking van de functie kunnen net als bij P & I- schema's letters worden toegevoegd. Als aanvulling hierop zijn er nog diverse andere symbolen mogelijk waarmee het mogelijk wordt meer inzicht in de werking te krijgen. Tevens bestaat de mogelijkheid om de gebruikte aansluitingen weer te geven. Voor de uitleg maken we gebruik van het P & I-

schema uit **figuur 87**. Dit schema van een niveauregeling zetten we daarbij stap voor stap om in een installatieschema. We maken daarbij in eerste instantie gebruik van het meest toegepaste systeem voor stroomsturing met live zero.



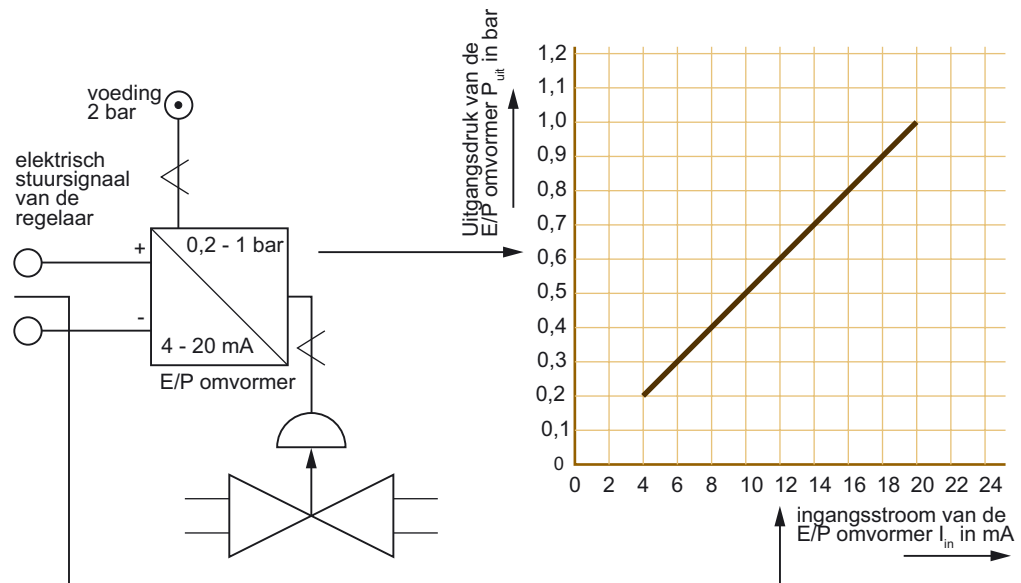
Figuur 87 P&I- schema voor een niveauregeling

Opgaven

74. Wat gebeurt er met de regelklep uit **figuur 88** als de stuur lucht wegvalt?
75. In **figuur 89** zijn twee veel toegepaste regelkleppen getekend. De regelacties van dergelijke kleppen worden in de praktijk op verschillende wijze benoemd. Geef in **figuur 89** aan welke klep drukopenend en welke klep druksluitend is.

76. Geef in **figuur 89** met een pijl de juiste regelactie in het installatiesymbool aan?

Er zijn twee manieren waarop een pneumatisch bediende regelklep kan worden aangestuurd die ook te herkennen zijn aan het symbool in het installatieschema. In **figuur 90** wordt de regelklep via een E/P omvormer aangestuurd. De grafiek geeft duidelijk aan wat de functie van de E/P omvormer is.



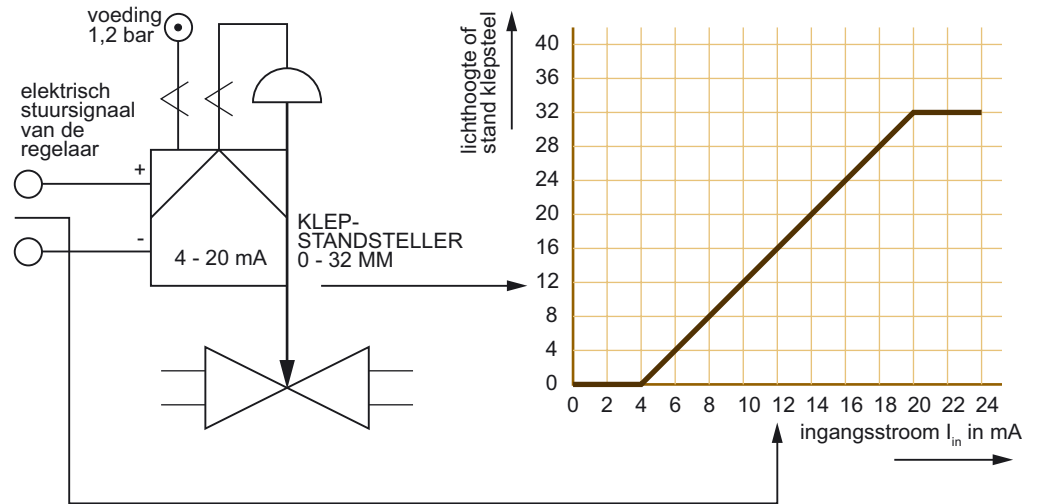
Figuur 90 Aansturing van een luchtgestuurdeklep door middel van een EP-omvormer.

Opgaven

77. Wat is de betekenis van een vierkant installatiesymbool?
78. Wat vormt de E/P omvormer precies om?
79. Waarvoor is er een luchtvoedingsaansluiting voor de E/P omvormer nodig?
80. Wat zou de reden kunnen zijn dat de voedingsdruk altijd wat hoger moet zijn dan de maximale uitgangsdruk van de omvormer?
81. Aan de getallen in de omvormer kan men zien wat de omvormer precies omvormt. Hierbij is een relatie tussen het eerste getal van de ingang van de omvormer met het eerste getal van de uitgang. Wat is de uitgangsdruk bij een ingangsstroom van 20 mA?
82. Stel dat in het symbool van de E/P omvormer geen 0,2 - 1 bar staat maar 1 - 0,2 bar. Wat is dan de uitgangsdruk bij een stuursignaal van 20 mA?

83. In **figuur 90** is in de leiding naar de klep een V getekend. Zoek in de installatie symbolenlijst de betekenis hiervan op.

De tweede manier waarop een regelklep kan worden aangestuurd is via een E/P-klepstandsteller. Het symbool voor een installatieschema ziet u in **figuur 91**.



Figuur 91 Aansturing van een luchtgestuurde klep door middel van een EP-klepstandsteller

De klepstandsteller heeft hierbij twee functies. Hij werkt als E/P-omvormer en hij heeft een regelfunctie waarbij de klepstand (lichthoogte) wordt geregeld op basis van het stuursignaal. Bij de regelfunctie wordt de klepstand mechanisch of elektronisch gemeten bij de klepsteel. Dit signaal wordt vergeleken met het stuursignaal en zonnodig wordt de stand van de regelklep bijgestuurd door middel van het pneumatisch uitgangssignaal naar de regelklep. Deze regelactie is herkenbaar aan het vierkant met de open pijl. Het uitgangssignaal, aangesloten op de punt van de pijl, is het luchtsignaal naar het membraan van de klep.

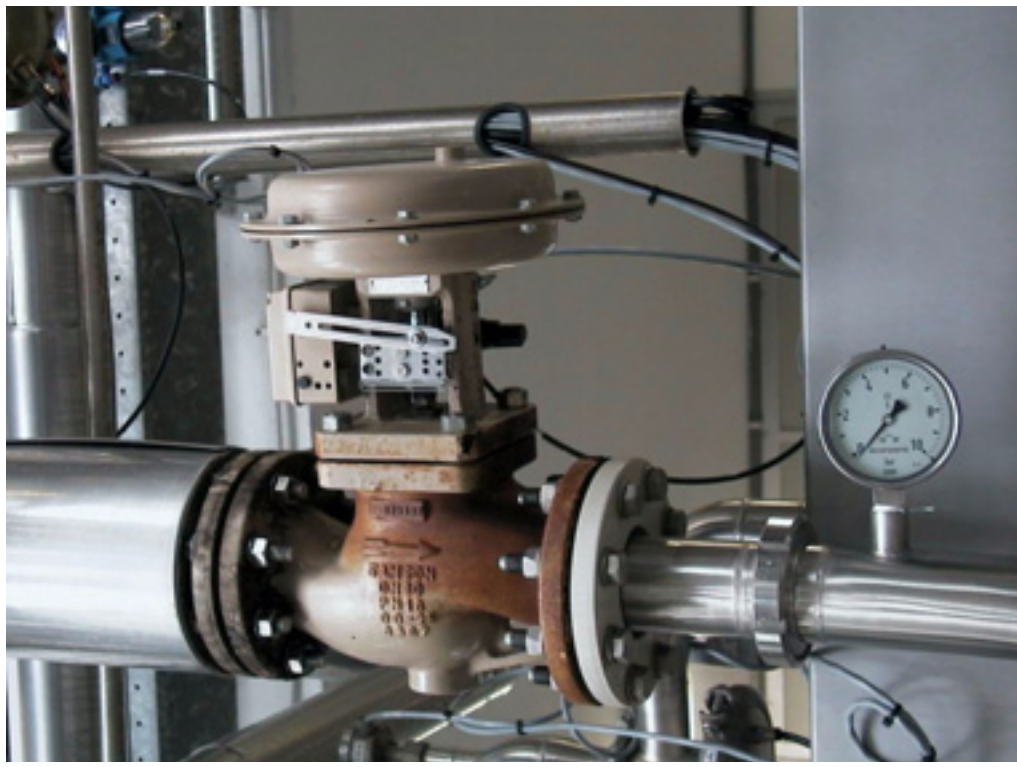
Opgaven

84. Hoeveel mm staat de regelklep open bij 12 mA?
85. Stel dat bij deze stand de procesdruk met de helft vermindert. Verandert in **figuur 91** dan de stand van de klep?
86. Teken in **figuur 91** de overzetverhouding wanneer de tekst in de klepstandsteller geen 4-20 mA is maar 20-4 mA.
87. Wat is het grote voordeel van een E/P klepstandsteller ten opzichte van een EP-omvormer voor het aansturen van een klep?

In **figuur 92** ziet u een aantal E/P omvormers. In **figuur 93** ziet u een voorbeeld van een E/P klepstandsteller.



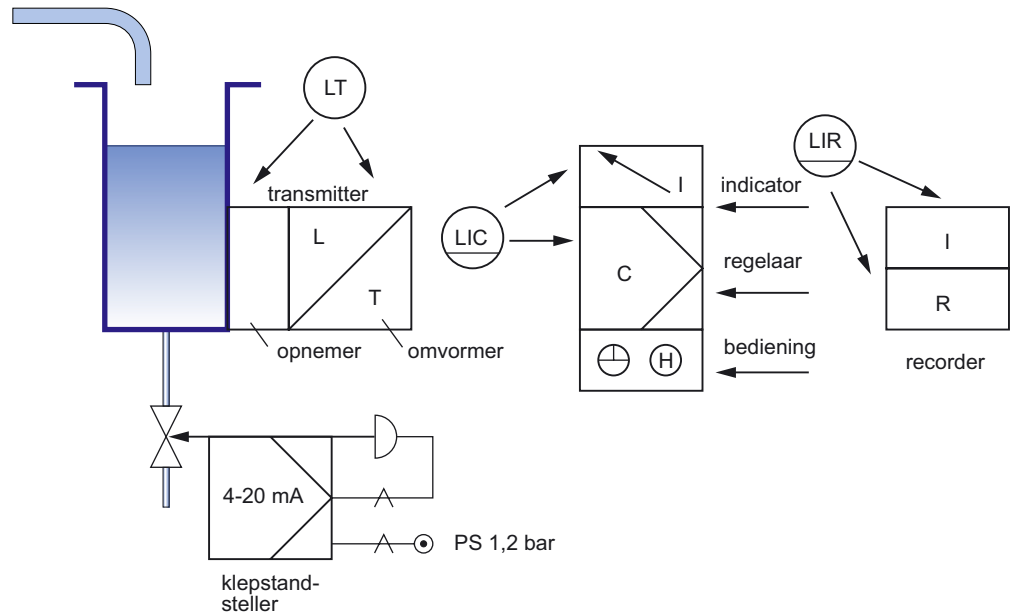
Figuur 92 E/P-omvormers



Figuur 93 E/P klepstandsteller met mechanische standmelder

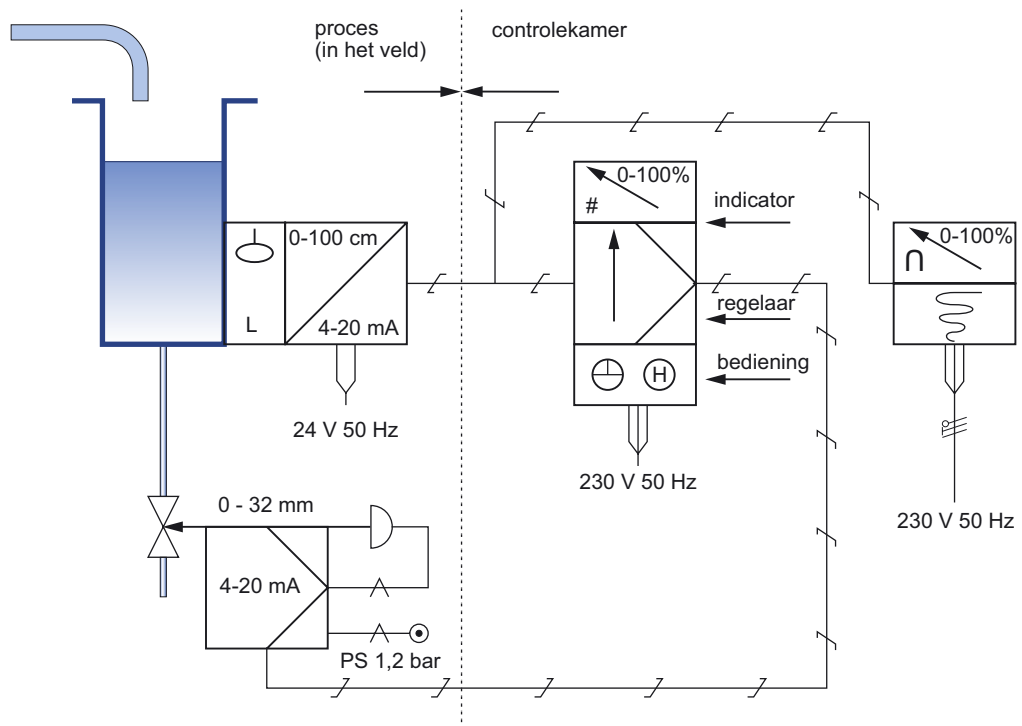
Basisopzet niveauregeling

In **figuur 94** is het installatieschema van **figuur 88** opnieuw weergegeven. Hierbij is de regelklep voorzien van een klepstandsteller. De andere functies zoals transmitter, regelaar en recorder komen nu aan de orde.



Figuur 94 Nog niet compleet installatieschema van de niveauregelingen.

De transmitter bestaat uit een basisblok (vierkant) voor de omzetting en een rechthoek voor de meting. Aan het symbool in de rechthoek kan worden afgeleid op welke wijze er wordt gemeten. Op dit moment kan daar nog van alles voor worden gekozen. Ook de schrijver bestaat uit twee blokken. In dit geval twee rechthoeken één voor de indicator die zowel analoog (meter) als digitaal kan zijn en het tweede blok voor de recorder die de gemeten waarde als functie van de tijd op papier zet. Als laatste vinden we hier de regelaar terug. Deze bestaat uit een regeldeel (open driehoek) die we al hebben leren kennen bij de klepstandsteller. Tevens is een rechthoek voor de indicator gereserveerd. De onderste rechthoek dient voor de bediening. **Figuur 95** geeft een nadere invulling van het installatieschema weer. Hierbij is een keuze gemaakt met betrekking tot de uiteindelijke uitvoering. Hierbij is de werking van de transmitter in het veld om reden van veiligheid niet direct afkomstig van de netspanning van 230 volt. Veelal wordt hierbij gekozen voor een lagere spanning zoals 24 volt wisselspanning.

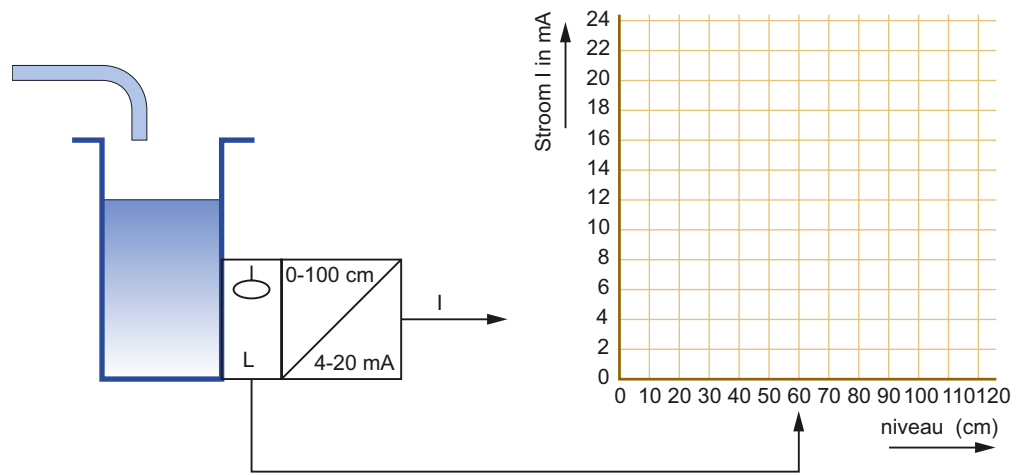


Figuur 95 Uitgewerkt installatie schema voor de niveauregeling uit **figuur 87**

Opgaven

Gebruik bij het beantwoorden van de volgende vragen zoveel mogelijk het symboolblad voor installatieschema's volgens NEN 3347.

88. Wat betekenen de twee cirkels in het bedieningsdeel van de regelaar?
89. Wat betekent de pijl en met name de richting daarvan in het regeldeel van de regelaar?
90. Met wat voor soort opnemer wordt het niveau gemeten?
91. Teken in **figuur 96** de overdrachtskarakteristiek van de transmitter.
92. Waarom heeft de transmitter in dit geval een voedingsaansluiting? Tip. Ga na waar de transmitter signaal(energie) aan moet leveren.
93. Waarom heeft de regelaar een voedingsaansluiting?
94. Waarom heeft de recorder een voedingsaansluiting? Tip. Deze hoeft immers geen signaal te leveren aan een andere instrumentatie.
95. Wanneer geven de beide indicatoren 100% aan, bij een vol of een leeg vat?
96. Wat is het verschil tussen de indicator voor de regelaar en die van de schrijver.
97. Wat stelt het symbool van de slingerlijn voor in het symbool van de schrijver?
98. Hoe kunt u zien dat het hier om elektrische verbindingen tussen de meet- en regelcomponenten gaat?
99. Werkt de regeling in **figuur 95** nu met een spannings- of een stroomsturing? Geef in uw antwoord aan waaraan u dit kunt zien.

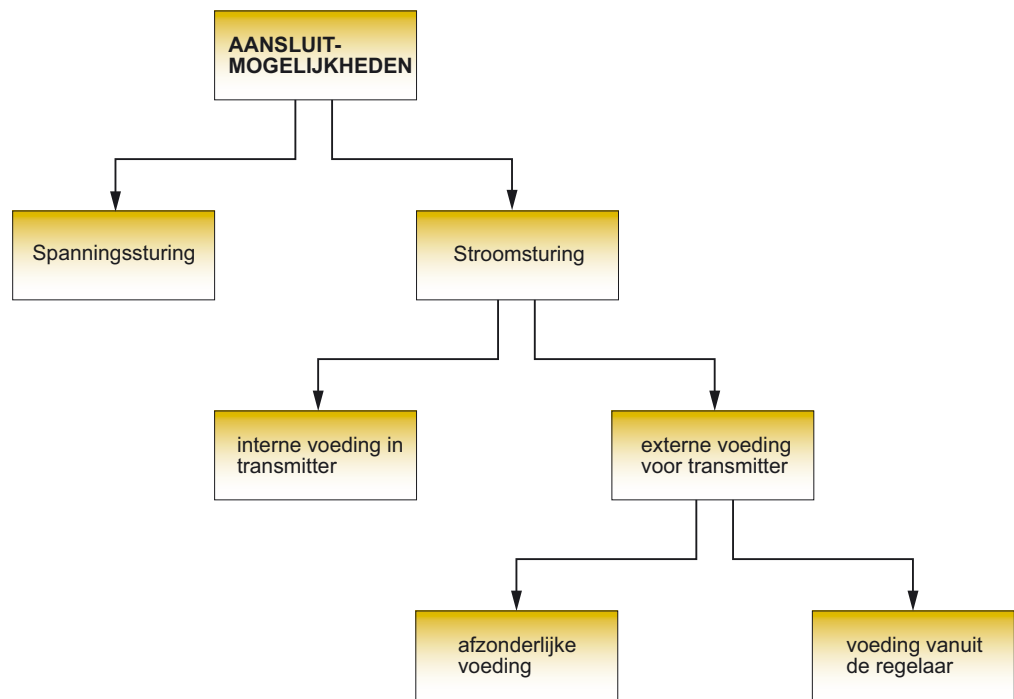


Figuur 96 Overdrachtskarakteristiek van de transmitter uit **figuur 95**

Aansluitschema, spannings- en stroomsturing

Het P & I- schema zorgt in de meet en regeltechniek voor een snelle indruk van de werking van de installatie. Het instrumentatieschema geeft meer informatie over de toegepaste instrumentatie, de onderlinge verbindingen en het toegepaste meet- en regelsignaal. Probleem blijft echter de exacte wijze van aansluiten. In **figuur 95** is uitsluitend aan de getallen in het symbool van de transmitter en klepstandsteller te zien dat het hier om een stroomsturing gaat. De getekende verbindinglijnen geven nog niet de informatie hoe de onderlinge bedrading in werkelijkheid

in elkaar zit. Dit wordt veroorzaakt doordat er in de praktijk meerdere manieren van aansluiten bestaan die afhankelijk zijn van de toegepaste apparatuur. In **figuur 97** is een algemeen overzicht weergegeven voor het aansluiten van elektrische instrumentatie. Van een goede monteur wordt verwacht deze door en door te kennen om fouten en storingen te kunnen opsporen en om apparatuur goed te kunnen aansluiten.

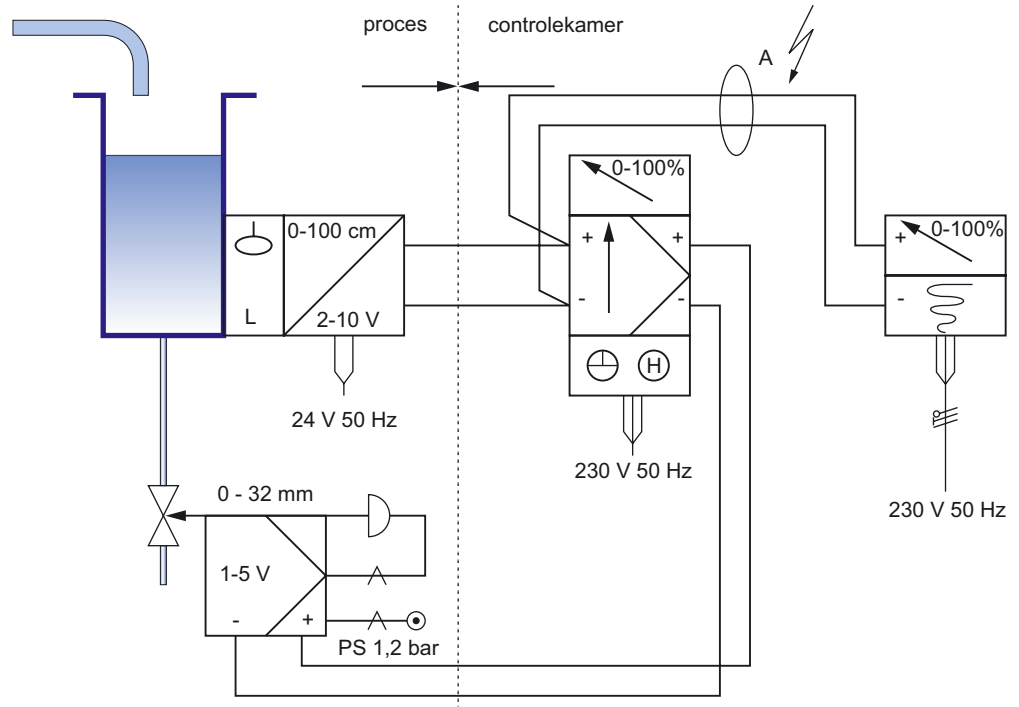


Figuur 97 Aansluitmogelijkheden bij elektrische instrumentatie

Spanningssturing

Spanningssturing is de eenvoudigste vorm van aansluiten. De wijze van aansluiten is praktisch vanuit het installatieschema of zelfs uit het P & I- schema af te lezen. In **figuur 98**

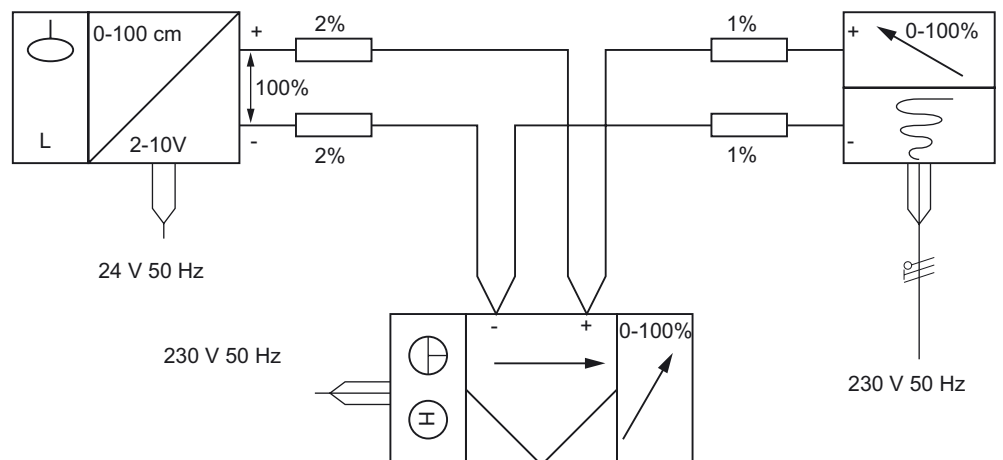
is het schema van **figuur 95** omgezet in een aansluitschema voor de gebruikte apparatuur. De toegepaste apparatuur is hierbij aangepast voor spanningssturing.



Figuur 98 Spanningssturing

Ondanks de eenvoudige vorm van bedraden wordt spanningssturing alleen toegepast bij korte kabelafstanden zoals gebouw-beheersystemen en klimaatregelingen. Dit heeft te maken met de weerstand van de toegepaste bekabeling. In **figuur 99** is dit voor een deel van de installatie weergegeven. De stroom die ook door de leidingweerstand vloeit

veroorzaakt een spanningsverlies. Hierdoor kan het gebeuren dat de schrijver een lager signaal krijgt aangeboden dan de regelaar. Maar zelfs die krijgt minder signaal dan dat de transmitter verlaat. Een ander probleem is de hogere stoorgevoeligheid.



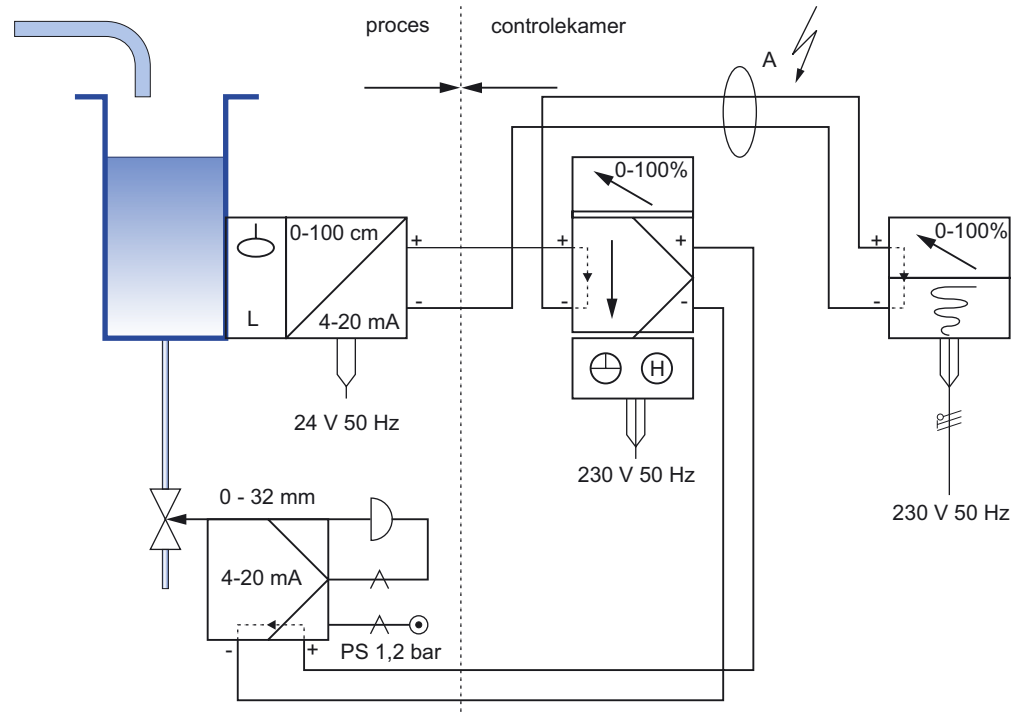
Figuur 99 Signaalverlies bij spanningssturing

Opgaven

100. De leiding van het veld naar de regelaar is meestal langer dan de afstand tussen de regelaar en de schrijver. Waarom vindt de aftakking in het algemeen plaats bij de regelaar (of rackroom) en niet bij de opnemer? Let op, deze informatie vindt u niet terug in een normaal P & I- schema.
101. Bij spanningssturing zijn de transmitters altijd voorzien van een voeding. In dit geval 24 volt wissel. Waarom is dit noodzakelijk? Tip. Denk aan de energie voor de informatie overdracht.
102. Wat kan er gebeuren als u bij het bedraden van **figuur 98** de plus en de min van de schrijver verwisselt?
103. Stel dat er door een leidingbeschadiging een verbinding bij A in **figuur 98** ontstaat. Wat is hiervan het gevolg? Geef hierbij ook de invloed op het proces aan.
104. Stel dat in **figuur 99** de transmitter een waterniveau van één meter meet. Hoe groot is dan de uitgangsspanning?
105. Bij controle op de regelaar blijkt dat de indicator slechts 96 cm water aangeeft. Wat is hiervan de reden?
106. Wat geeft de indicator van de recorder aan in dit geval?

Stroomsturing met interne transmitter voeding

Figuur 100 geeft het aansluitschema weer voor de installatie uit **figuur 95** maar nu uitgevoerd met stroomsturing. De transmitter wordt gevoed door een hulpspanning van 24 volt waardoor er energie beschikbaar is voor het aansturen van de recorder en controller(regelaar).



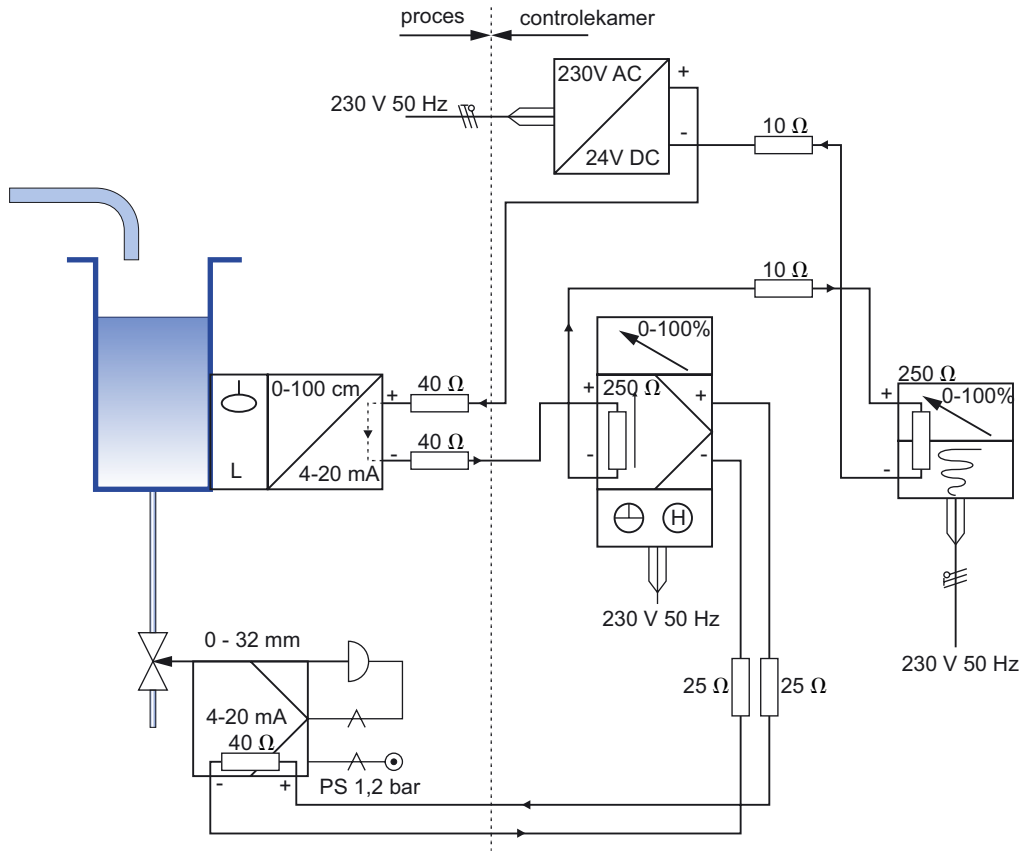
Figuur 100 Stroomsturing met interne transmittersvoeding

De uitgangsstroom van de transmitter gaat hierbij eerst door de regelaar en dan door de schrijver voordat deze weer terug stroomt naar de voedingsbron die zich in de transmitter bevindt. De volgorde van apparatuur is hierbij niet belangrijk zolang maar gekozen wordt voor de juiste stroomrichting door de apparatuur. Hiervoor moet bij het bedraden de plus en de min op de juiste wijze worden aangesloten. Bij losse draden is dit eenvoudig te realiseren door van aansluiting naar aansluiting te bedraden. In het geval van kabels met meerdere aders kan dit lastiger zijn. Veelal wordt de plus aangegeven met wit en de min met zwart. De aansluiting van de transmitter vindt in **figuur 100** plaats met vier draden. Twee voor de voeding en twee voor het signaal. Men noemt een dergelijke aansluiting van de transmitter in het veld dan ook wel een vier-draads aansluiting. Een andere benaming is een actieve transmitter (levert door de interne voeding zelf stroom).

Stroomsturing met separate externe transmittersvoeding

Behalve een interne voeding van de transmitter kan er ook voor gekozen worden gebruik te maken van afzonderlijke voeding. Dit kan een afzonderlijke voeding zijn zoals in **figuur 101** is afgebeeld maar ook een centrale

laagspanningsvoeding. In het laatste geval vaak een spanning tussen de 24 en 60 volt, die door accu's wordt ondersteund om de bedrijfsvoering ook in het geval van netspanningsuitval zeker te stellen.



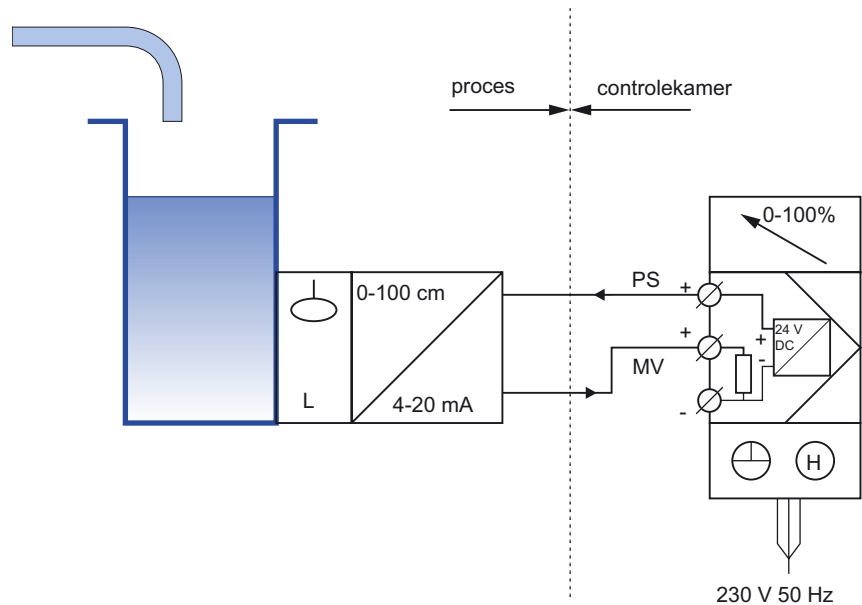
Figuur 101 Stroomsturing met externe transmittersvoeding

In **figuur 101** zijn ook de interne weerstanden van de apparatuur alsmede mogelijke weerstanden van leidingen opgenomen. De hierbij aangegeven weerstanden zijn gemiddeld een factor 10 te groot. Hierdoor wordt echter het rekenen aan dit figuur eenvoudiger. Dit is niet alleen om het grote voordeel van stroomsturing te laten zien, maar ook om de aandacht te vestigen op de maximale kringweerstand. De weerstand van apparatuur is in veel gevallen gestandaardiseerd op 250 Ohm. Deze waarde is niet voor niets gekozen zoals later zal blijken. Oudere recorders kunnen echter ook een lagere weerstand hebben van bijvoorbeeld 100 Ohm. In **figuur 101** lopen slechts twee draden naar de transmitter. De praktijkbenaming is daarom tweedraads of vanwege de externe voeding een passieve transmitter.

Stroomsturing met voeding van uit de regelaar

Omdat transmitters zich meestal in het veld bevinden is de eigen voeding lastig omdat daarvoor een aparte bedrading moet worden aangelegd. Transmitters worden dan ook praktisch altijd met twee draden aangesloten.

De voeding wordt dan of door een aparte voeding vanuit de controlekamer geleverd zoals in **figuur 101** of, wat meestal het geval is, door de regelaar zelf. Hiervoor wordt er een extra voeding in de regelaar ingebouwd. Zie **figuur 102**.

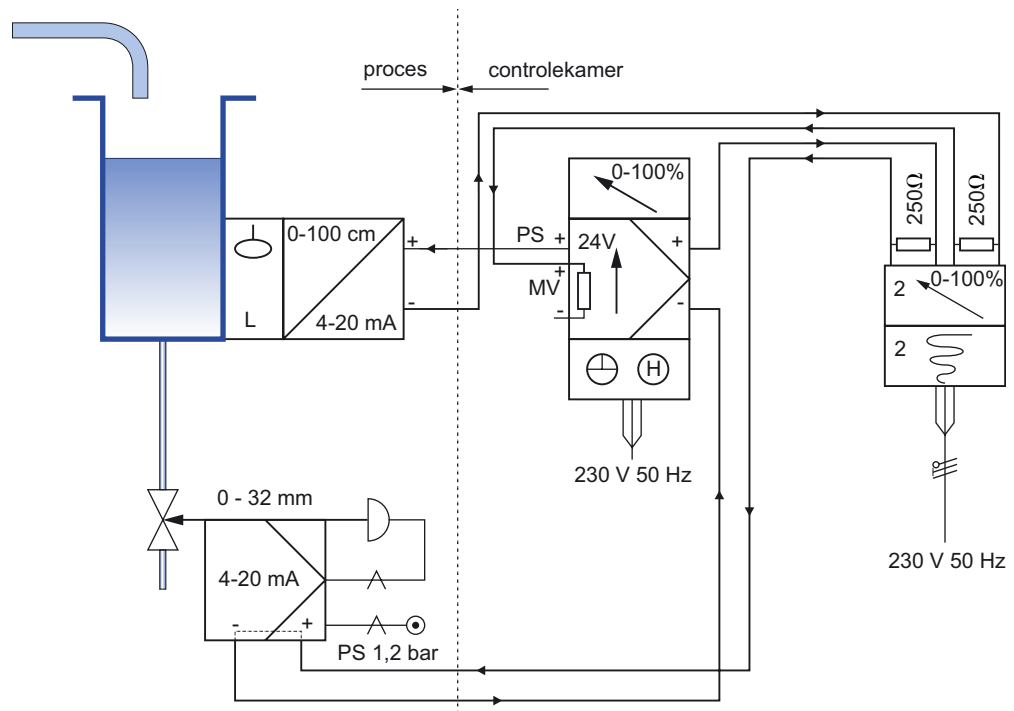


Figuur 102 Controller met ingebouwde voeding (power supply)

De afzonderlijke voeding uit **figuur 101** is in de regelaar ondergebracht. Hierbij wordt er bespaard op materiaal en bedrading. De regelaar heeft immers al een netaansluiting (230 V). Van de ingebouwde voeding (in het Engels power supply) is alleen de plus naar buiten uitgevoerd. Veelal herkenbaar aan PS of 24 V DC. De min is gecombineerd met de minkant van de ingang voor de gemeten waarde (measured value) veelal afgekort met de letters MV. In **figuur 102** is alleen de transmitter aangesloten om de werking te verduidelijken. Bij een signaalkring met meerdere apparaten eindigt deze bij de regelaar als zich hier de (interne) voedingsbron bevindt en dus ook de min aansluiting. Deze wijze van tekenen uit **figuur 102** wordt in de praktijk niet gebruikt en is alleen bedoeld voor de uitleg. Het personeel ziet dit aan de voedingsaansluiting op de regelaar. Zie **figuur 103**.

sturing van één tot en met vijf volt. Om deze geschikt te maken voor stroomsturing zijn externe weerstanden onder de aansluitingen geschroefd van 250 Ohm.

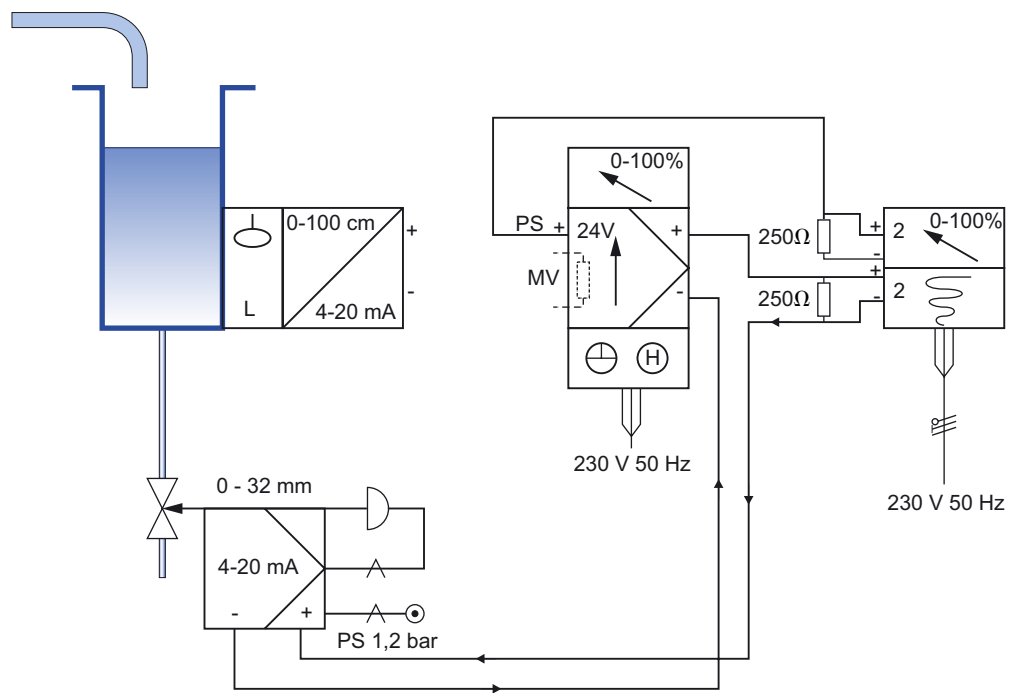
In het schema van **figuur 103** is tevens de uitgang van de regelaar verbonden met de schrijver waardoor ook het signaal naar de klep wordt geregistreerd. De schrijver is een type dat alleen geschikt is voor spannings-



Figuur 103 Stroomsturing met voeding vanuit de controller

Opgaven

- 107.** Teken in **figuur 100** door middel van pijltjes het verloop van de stroom in de transmitter-kring, regelaar en schrijver. Vergeet hierbij niet het retourpad naar de voedingsbron in de transmitter.
- 108.** Wat gebeurt er in **figuur 100** als er door het beschadigen van de leiding bij A een sluiting tussen de aders ontstaat? Geef hierbij ook de invloed op het proces aan.
- 109.** Waar komt in **figuur 100** de energie voor de informatiestroom naar de klepstandsteller vandaan?
- 110.** Stel in **figuur 101** meet de transmitter één meter waterkolom. Hoe groot is dan de stroom door de schrijver en regelaar?
- 111.** Bereken met de wet van Ohm de spanning die over de weerstand van 250 Ohm in de regelaar staat bij de door u bepaalde stroom.
- 112.** Kunt u nu zo zeggen hoeveel spanning er valt over de weerstand van de schrijver?
- 113.** Bepaal door optelling de totale weerstand van alleen de leiding in het circuit van de transmitter, regelaar en schrijver.
- 114.** Bereken hoeveel spanningverlies hierover staat bij een gemeten waarde van één meter waterkolom.
- 115.** De voeding kan 24 volt leveren. De transmitter heeft minimaal vier volt aan eigen gebruik voor de interne schakeling nodig om goed te kunnen functioneren volgens de opgave van de fabrikant. Hoeveel spanningsruimte blijft er over voor het voeden van bijvoorbeeld een extra indicator van 250 Ohm?
- 116.** Wat gebeurt er met de meetwaarde wanneer de totale weerstand van de keten zo groot wordt dat de stroom van 20 mA bij een voedingsspanning van 24 volt niet meer gehaald kan worden?
- 117.** Waarom is het maximaal aan te sluiten componenten in een kring dus beperkt bij stroomsturing?
- 118.** In **figuur 103** is de ingang van de schrijver afgesloten met 250 Ohm. Hoeveel spanning valt hier over als de stroom 4 mA bedraagt?
- 119.** De beperking van aansluiting doordat er met een interne voeding vanuit de regelaar gewerkt wordt, valt in de praktijk nogal mee. Het alternatief is dat de voeding eerst verbonden wordt met de schrijver en dat de schrijver de transmitter voedt. Zie **figuur 104**. Maak dit schema zelf compleet, zodat er een werkend geheel ontstaat.

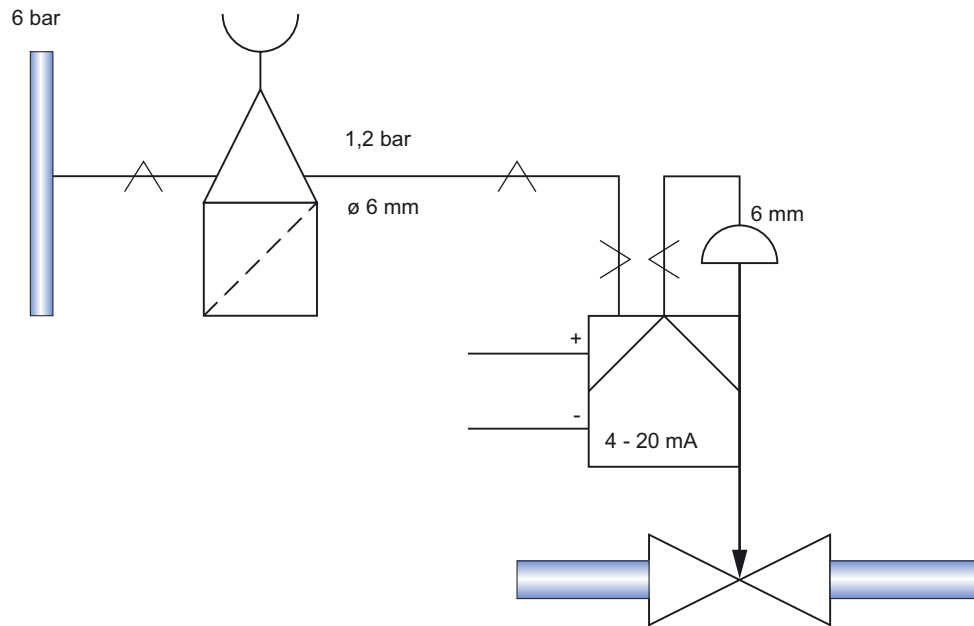


Figuur 104 Alternatieve stroomsturing met voeding vanuit de regelaar

Bekabeling

De onderlinge verbindingen tussen componenten is afhankelijk van de gebruikte informatiedrager. Zo zal voor lucht veelal gebruik gemaakt worden van slangen of koperen leidingen met doorsneden van vier tot acht mm. De toepassing hiervan beperkt zich tegenwoordig tot EP- omvormers en klepstandstellers. De slangen of leidingen

worden al of niet met een gereduceerde druk, van een hoofdleidingnet afgetapt. Om de klep daarbij snel te laten regelen houdt men lage drukleidingen die zich achter het reduceer bevinden zo kort mogelijk. Dunne leidingen hebben een hoge leidingweerstand waardoor het lang duurt voordat een membraamkamer van een klep geheel gevuld is. Zie **figuur 105**.



Figuur 105 De voeding voor een EP-klepstandsteller

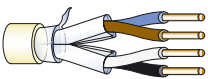
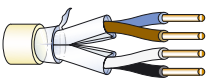
Elektrische verbindingen kennen dit vertragingverschijnsel niet. De snelheid van de informatie- overdracht gaat hierbij met de snelheid van het licht. Elektrische leidingen kennen echter wel een leidingweerstand die vooral bij spanningsgestuurde systemen tot fouten kunnen leiden. Met name door koperbesparing wordt er steeds vaker met dunnere aders gewerkt. Veelal schrijven daarbij fabrikanten de benodigde type bekabeling voor. Afhankelijk van de toepassing en met name de bedrijfsomstandigheden kunnen dit verschillende type zijn.

Bij spannings-/stroomsturing onderscheiden we verschillende typen. Dit zijn:

- Standaard kabel
- Afgeschermde kabel
- Coaxkabel (voor hoogfrequentsignalen)

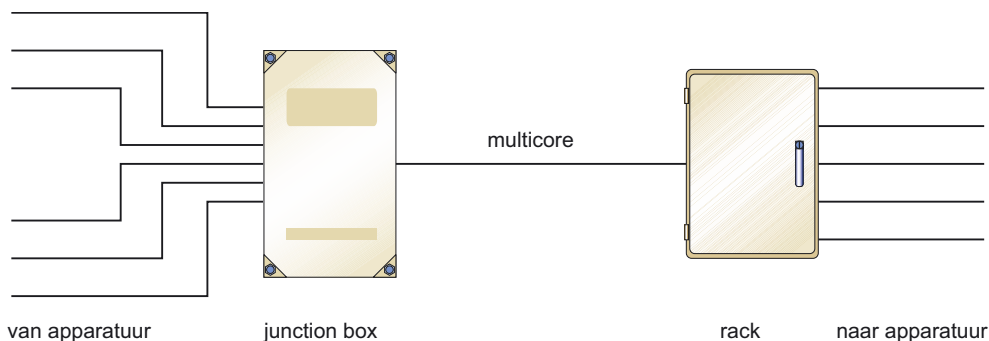
De getoonde volgorde geeft in het algemeen een oplopend prijs niveau. In dit hoofdstuk beperken we ons tot de twee eerst genoemde. Coaxkabel wordt meestal bij bussystemen gebruikt zoals bij proces computers.

Standaard kabel wordt geleverd in een twee-aderige uitvoering, bekend onder de naam paar (pair). Daarnaast als drie-aderige onder de naam trio (triad). Gebruikelijk zijn hierbij de kleuren zwart en wit voor twee-aderige en aangevuld met rood voor drie-aderige. Speciale vier-aderige kabel voor het gebruik bij vier-draads transmitters, bestaat uit de kleuren blauw en bruin voor de voeding van de transmitter en zwart en wit voor de informatieoverdracht. Zie **figuur 106**.

Type omschrijving	Type codering	Kabel materiaal opbouw	isolatiemateriaal kleur codering
 <p>30V 80°C UL AWM 2990</p> <p>CSA AWM I/II A/B Mini Cable</p>	<p>3086 A NEC CL2 CSA FT 1</p>	<p>2 - 16 (19 x 29) .067 tinned copper 3.6 Ω /M' 11.8 Ω /km 2 - 20 (19 x 32) .041 tinned copper 10.0 Ω /M' 32.8 Ω /km</p>	<p>Power Pair PVC Blue / Brown Data Pair Cellulair PE Black / White</p>
 <p>30V 80°C UL AWM 2990</p> <p>CSA AWM I/II A/B Micro Cable</p>	<p>3087 A NEC CL2 CSA FT 1</p>	<p>2 - 22 (19 x 34) .030 tinned copper 17.5 Ω /M' 57.4 Ω /km 2 - 22 (19 x 34) .030 tinned copper 17.5 Ω /M' 57.4 Ω /km</p>	<p>Power Pair PVC Blue / Brown Data Pair Cellulair PE Black / White</p>

Figuur 106 Speciale kabel voor Honeywell Smart distributed system

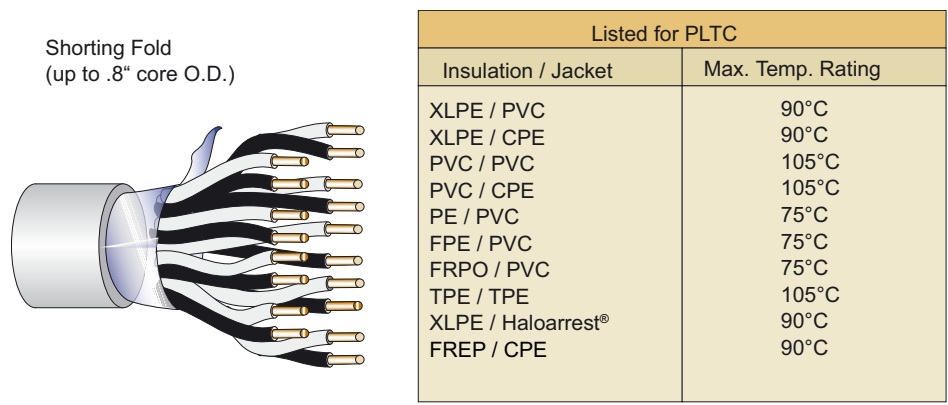
De standaard twee- en drie-aderige kabels zijn ook leverbaar als meeraderige variant (multicore) om meerdere componenten te kunnen aansluiten. Hiermee wordt bespaard op de bekabelingskosten. In **figuur 107** treft u hiervan een voorbeeld aan.



Figuur 107 Het gebruik van meeraderige kabel tussen aansluitkast en rangeerverdeler

In het veld bevinden zich meerdere transmitters en kleppen. Deze worden met pairs en/of triads uitbedraad naar een in het veld geplaatste aansluitkast (junctionbox). Vandaar gaat het met een kabel met zeer veel aders, naar de zich in of voor de controlekamer (controlroom) bevindende rangeerverdeler (rackroom). Vanuit de rangeerverdeler wordt dan weer verbinding gemaakt met de afzonderlijke componenten door afzonderlijke leidingen.

Bij meeraderige leidingen is ook sprake van paren of trio's (pairs en traids). Om de afzonderlijke paren en trio's van elkaar te kunnen onderscheiden zijn deze op de buitenkant van de isolatie genummerd. In **figuur 108** treft u een voorbeeld van een dergelijke kabel aan.

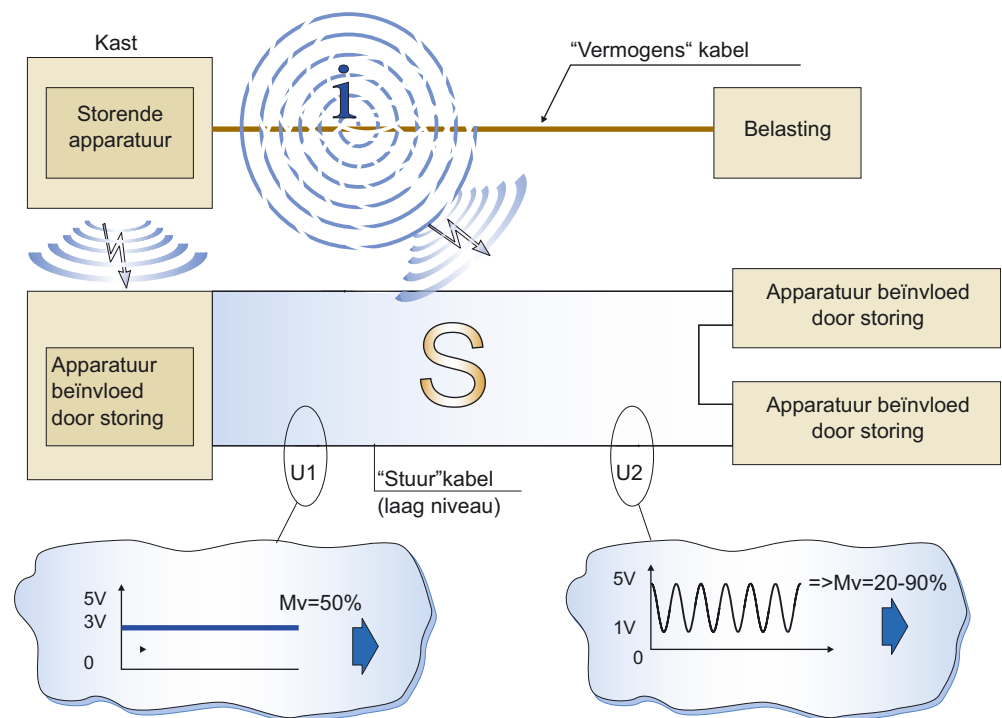


Figuur 108 Multicore

Afhankelijk van de omgevingstemperatuur en de daarin voorkomende chemicaliën kan hierbij gekozen worden uit verschillende soorten isolatie. Multicores zijn er tot circa 200 à 600 pairs of triads.

Standaard leidingen met naast de geleidende aders alleen isolatie, worden toegepast op niet kritische plaatsen en bij voorkeur aangelegd in een metalen buis of goot. De afzonderlijke draden in de kabel zijn meestal getwist. De

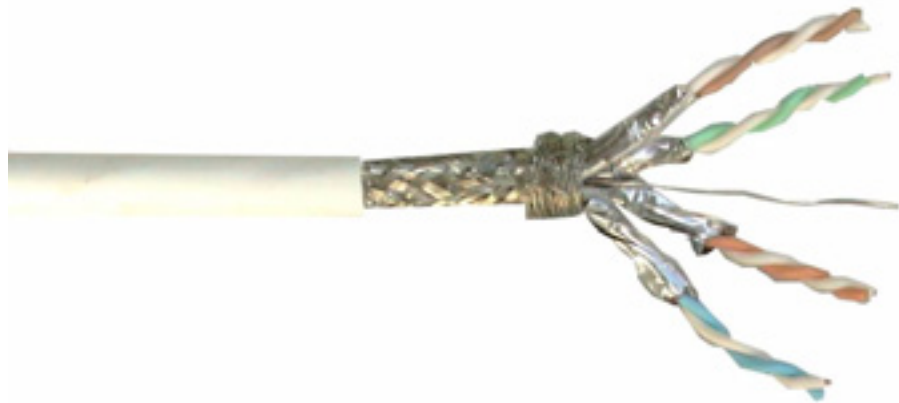
reden hiervoor is in **figuur 109** afgebeeld. Elektrische stromen door draden veroorzaken magnetische velden. De sterkte van het veld is hierbij lineair met de grote van de stroom. Vooral voedingskabels van grote motoren wekken, met name bij het inschakelen door de hoge aanloopstroom, zeer sterke magnetische velden op.



Figuur 109 Overdracht van elektromagnetische storing (bron: Telemecanique)

Het magnetische veld wisselt daarbij van polariteit (noord en zuid). Het vervelende is dat deze velden in de buurt van een elektrische draad ook weer een spanning opwekken. Dit effect is sterker naar mate de afstand tussen de draad en het stoorveld kleiner is. Betreft dit een meetleiding dan wordt het signaal hierdoor sterk gestoord. Door nu de draden te twisten liggen ze gemiddeld even ver van de stoorbron af. Hierdoor wekken ze dezelfde

spanning op waardoor zowel de plus- als de min-leiding er evenveel last van heeft en er per saldo geen verschil ontstaat tussen plus- en min-aansluiting. Sinds de komst van frequentieregelaars is het storingsniveau veel groter geworden en moet er behalve twisten ook worden afgeschermd. Zie **figuur 110**.



Figuur 110 Opbouw van afgeschermd leidingen

De afscherming bestaat uit dunne in elkaar gevlochten draadjes die een soort flexibele metalen bewapening vormen. Deze afscherming bevindt zich onder de buitenste laag van isolatie. De afscherming vangt als het ware het stoorsignaal op zodat deze de echte signaaldraden niet of duidelijk minder kan bereiken. Bij het gebruik van dergelijke leidingen moet u er op letten of aarding aan de kant van de transmitter, regelaar of beide zijden is voorgeschreven. Bij het verkeerd aansluiten kan het middel erger dan de kwaal blijken te zijn. Bij multicores kan per pair of triads afzonderlijk worden afgeschermd en nog eens in zijn geheel. Afhankelijk van hoeveel storingsonderdrukking is gewenst.

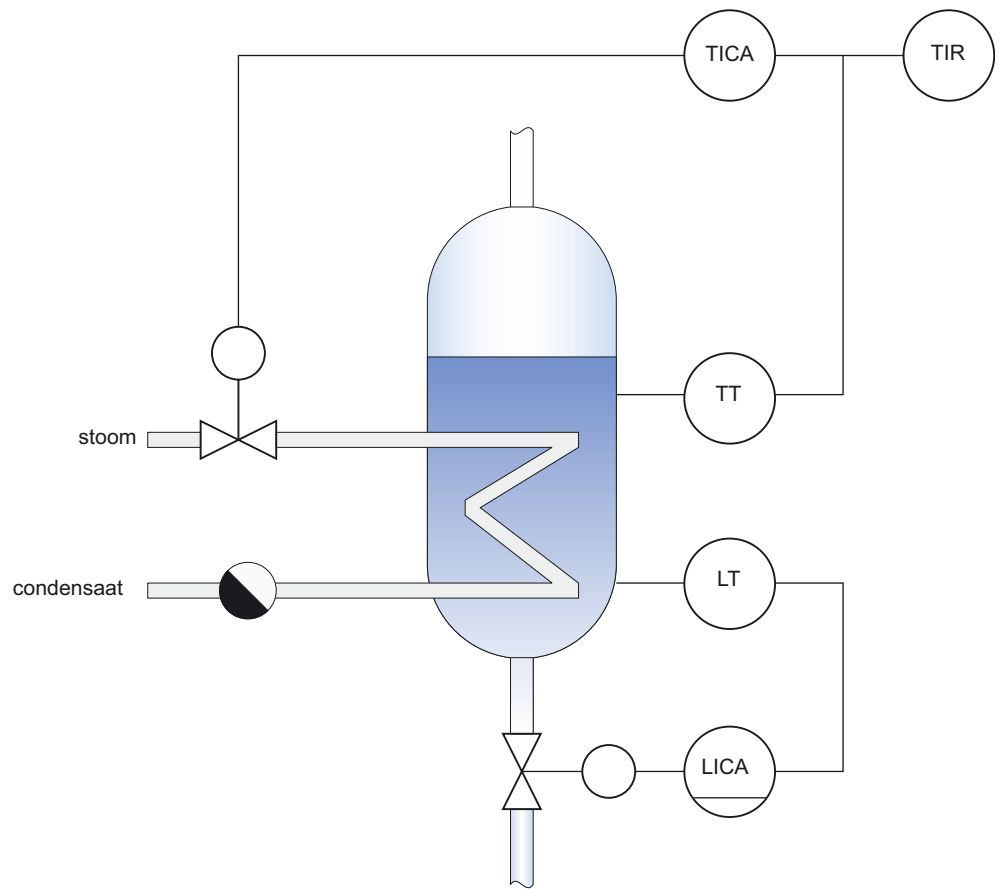
zijn met name frequentieregelaars voor het regelen van de snelheid van motoren (pompen) maar ook portofoons, mobiele telefoons, etc. Dit staat bekend onder het fenomeen elektromagnetische compatibiliteit of kortweg EMC. Bij het bestrijden van EMC problemen gaat het erom stoorbronnen zo weinig te laten storen, dat andere apparatuur er geen last van heeft en tevens storingsgevoelige apparatuur zo immuun te maken voor elektromagnetische stoorvelden dat ze pas bij hoge storingsenergie niveau's last krijgen. Hiervoor bestaan Europese eisen aan apparatuur. Dit valt echter buiten het bestek van deze cursus. Zie hiervoor de dagcursus: *EMC-richtlijn voor monteurs*.

Behalve zogenaamde laagfrequentstoring door 50 Hz signalen en inschakelverschijnselen is tegenwoordig hoogfrequent storing veel ernstiger gebleken. Stoorbronnen

Opgaven

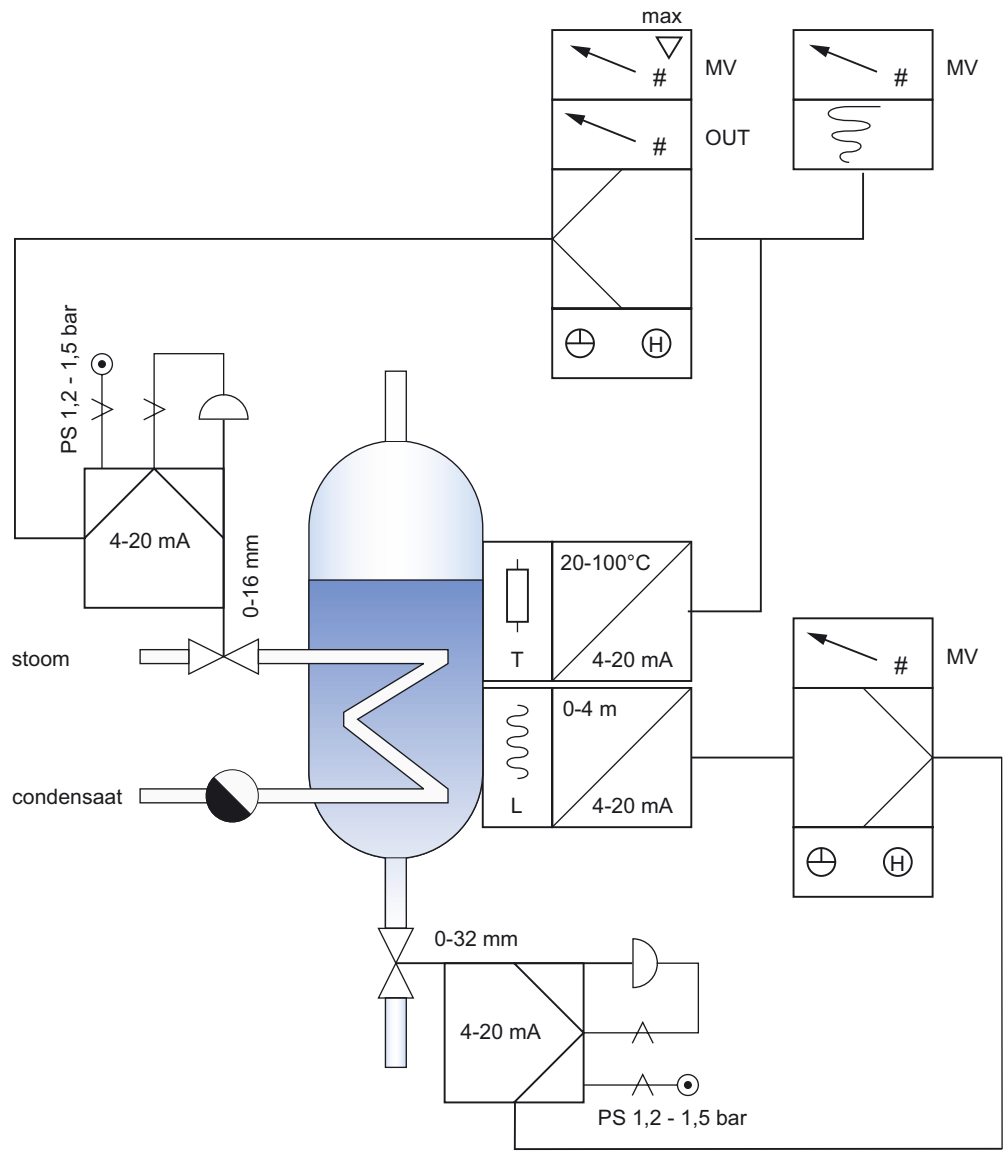
- 120.** Waarom kan er naast afgeschermd leidingen ook gewerkt worden met gescheiden metalen kabelgoten of stalen buizen voor standaard sterkstroom- en instrumentatieleidingen om onderlinge beïnvloeding te voorkomen?
- 121.** In het algemeen hebben spanningsgestuurde systemen (bijv. 1 – 5 volt) een lager energie niveau bij informatieoverdracht dan stroomgestuurde systemen (bijv. 4 – 20 mA). Wat zegt dit over de mate van mogelijke storingen?

Eindopdracht **Figuur 111** geeft het P & I- schema van een opkoker met twee regelkringen.

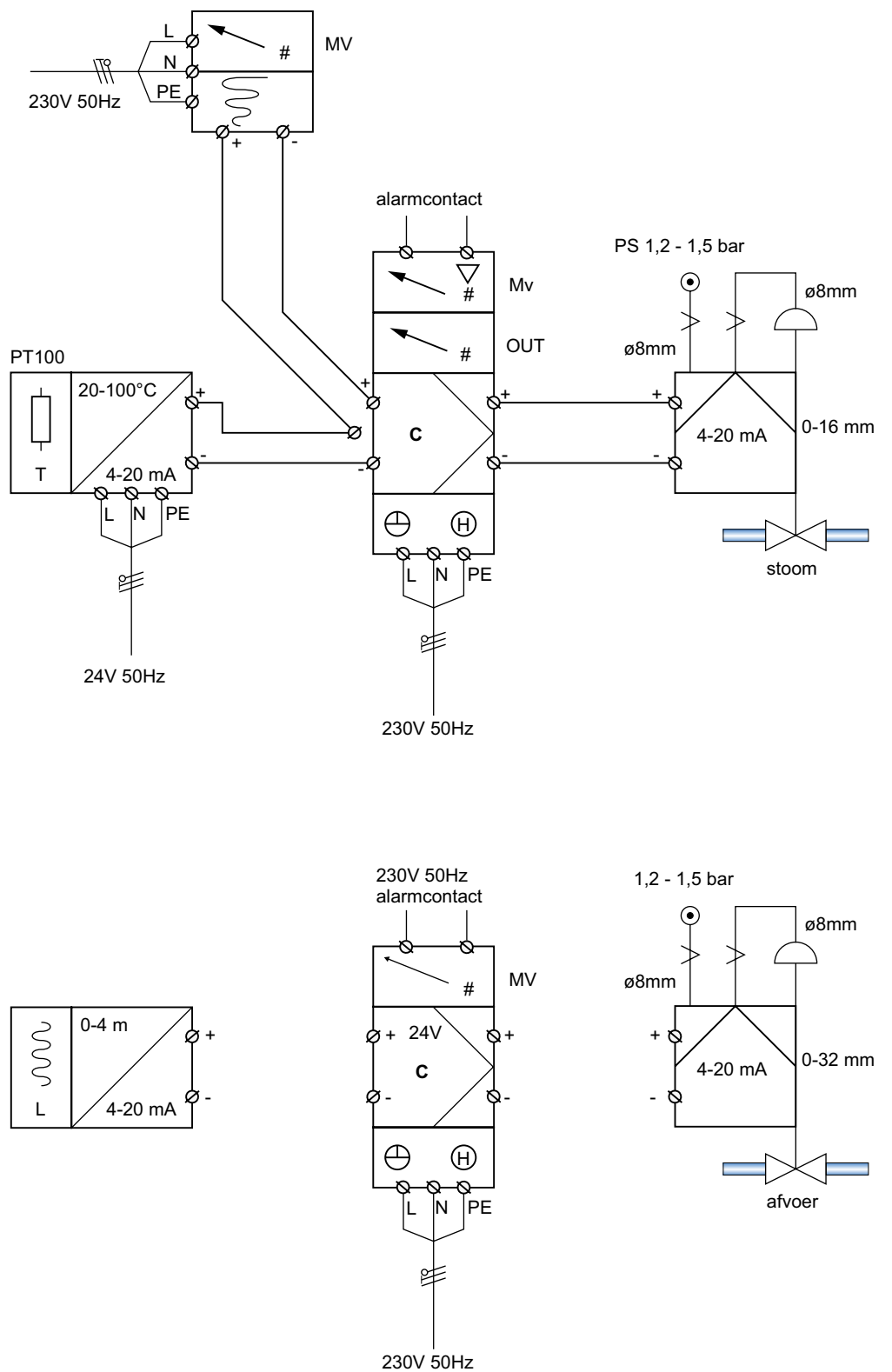


Figuur 111 P & I- schema van een opkoker.

In **figuur 112** is een begin gemaakt met de omzetting naar een installatieschema, terwijl **figuur 113** een opzet geeft voor het bijbehorende aansluitschema voor de gebruikte apparatuur.



Figuur 112 Installatieschema voor de opkoker uit **figuur 111**



Figuur 113 Aansluitschema voor de opkoker uit **figuur 111**

Opgaven

122. Wat zijn in **figuur 111** de geregelde grootheden?
123. Als veiligheid met betrekking tot gasvorming door oververhitting belangrijk is, wat is dan in **figuur 111** de actie voor de regelklep in de stoomleiding? Geef uw antwoord aan in de vorm van een pijltje in **figuur 111**, **figuur 112** en **figuur 113**.
124. Geef in **figuur 112** aan welke informatie-dragers er zijn toegepast.
125. Geef in **figuur 112** aan wat de regelactie (direct of omgekeerd werkend) van de temperatuurregelaar is.
126. Herhaal de vorige opgave voor de niveauregelaar.
127. Waarmee wordt door de temperatuur-transmitter in **figuur 112** de temperatuur gemeten?
128. Wat voor opnemer is in **figuur 112** gebruikt om het niveau in het vat te meten?
129. Wat is de kleur van de aders in de bedrading tussen de temperatuurregelaar en de regelklep bij het gebruik van gestandaardiseerde kabel?
130. Waarom kan het onverstandig zijn om de uitgaande kabel van de temperatuur-transmitter te bundelen met een kabel voor het voeden van een elektromotor?
131. Maak het schema van **figuur 113** compleet door de bedrading te tekenen. Geef daarbij met de afkorting BL (black) en W (white) de kleur van de gebruikt aders aan.

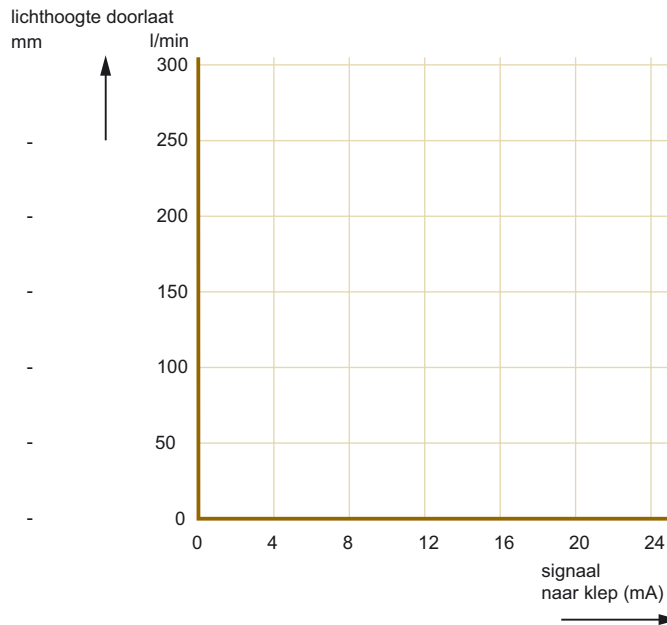
Hoofdstuk 5 Proportioneel regelen

Inleiding Dit hoofdstuk behandelt de proportionele regeling van een proces. De regeling wordt stapsgewijs doorlopen met als voorbeeld een niveauregeling in een buffertank. In **figuur 114** ziet u een buffertank met een niveauopnemer.

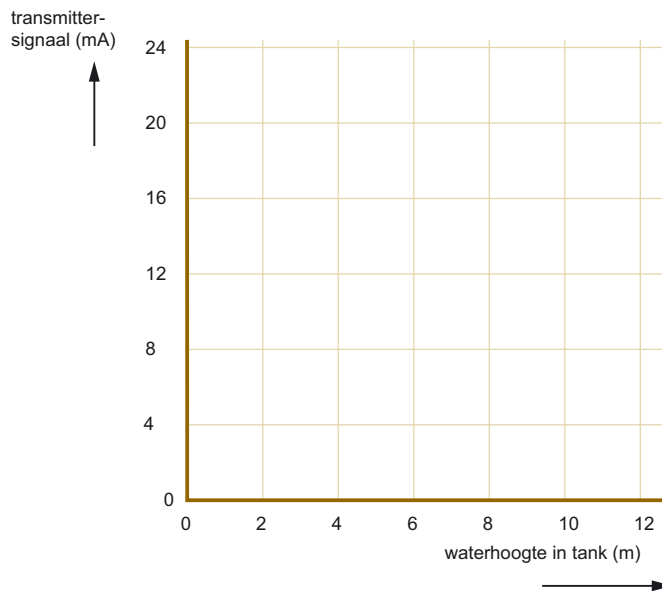


Figuur 114 Buffertank met niveauopnemer

138. De klep in de toevoerleiding staat dicht. Wat gebeurt er achtereenvolgens met het niveau in de tank, het signaal van de niveautransmitter en de doorlaatcapaciteit (l/min) van de afvoerklep?
139. Wat wordt het niveau in de tank en de doorlaatcapaciteit van de regelklep bij een toevoercapaciteit van: 100 l/min, 200 l/min en 300 l/min?



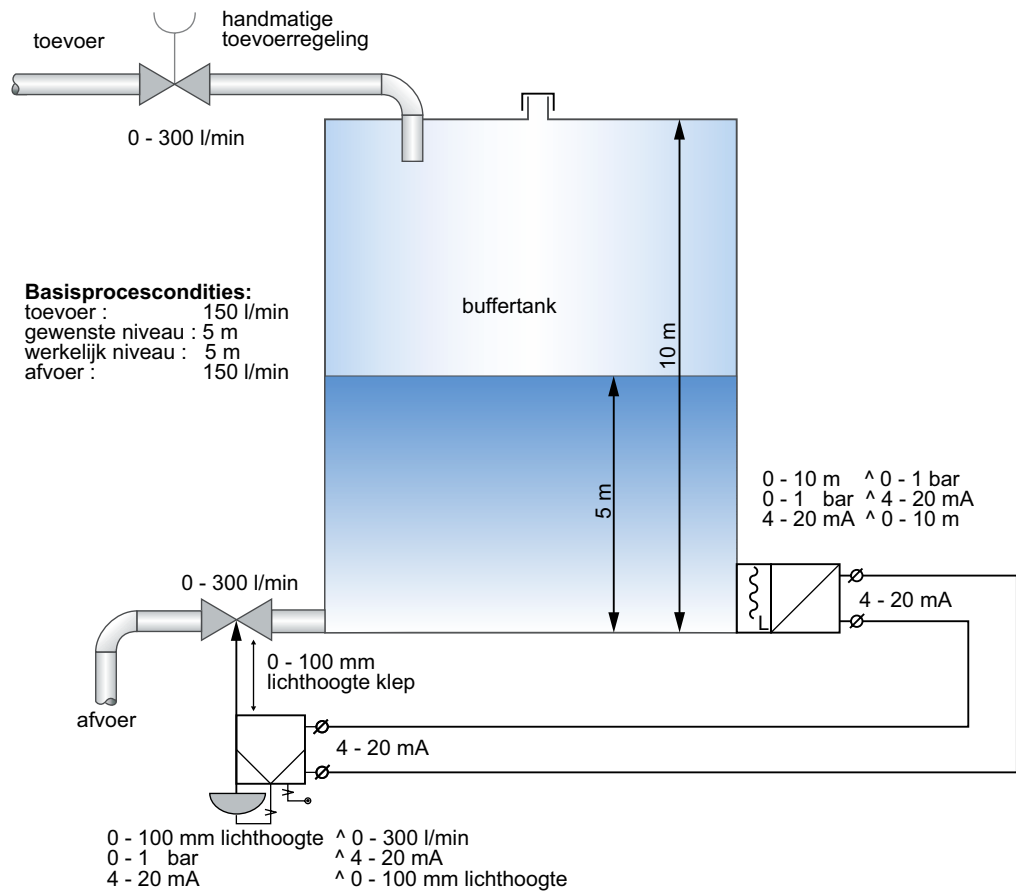
Figuur 116 Overdrachtskarakteristiek regelklep



Figuur 117 Overdrachtskarakteristiek transmitter

De buffertank in **figuur 118** is ontworpen om bij wisselende toevoercapaciteiten de afvoercapaciteit automatisch aan te passen. Het niveau in de buffertank moet op 5 meter gehandhaafd blijven. Als basisprocescondities zijn de volgende uitgangspunten gekozen: een handmatig in te stellen toevoercapaciteit die kan variëren tussen 0 en 300 l/min met een gemiddelde toevoer van 150 l/min. Bij deze gemiddelde toevoer moet het niveau in de tank 5 meter zijn. De regelklep in de afvoer heeft hetzelfde bereik als de toevoercapaciteit

(0-300l/min) en zal bij een 150 l/min toevoercapaciteit ook 150 l/min afvoeren. Deze basisprocescondities staan in **figuur 118** kort samengevat.

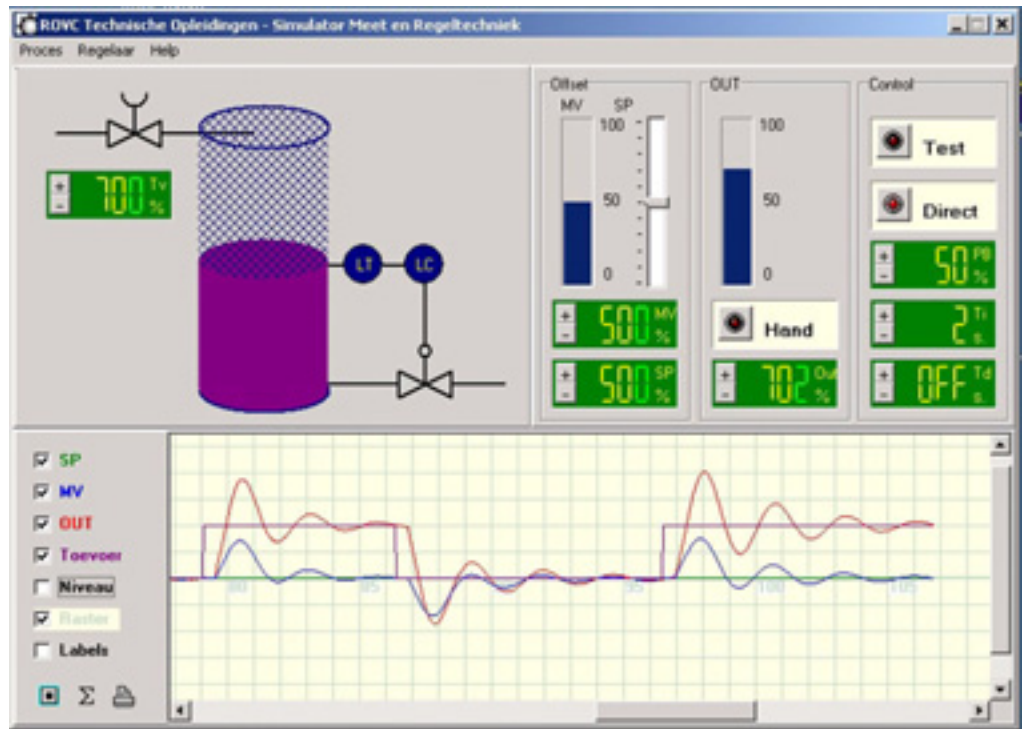


Figuur 118 Basisprocescondities voor niveauregeling in buffertank

Uit de voorgaande vragen blijkt dat alleen voor de basisprocescondities het niveau op de gewenste 5 meter blijft. Zodra de toevoer groter of kleiner dan 150 l/min wordt, verandert het niveau en ontstaat er een afwijking ten opzichte van het gewenste niveau van 5 meter. Het verschil tussen het gewenste niveau van 5 meter (gekozen als basisprocesconditie) en het werkelijk gemeten niveau heet 'static offset of blijvende statische afwijking'. Meestal noemen we dat kortweg offset.

Simulatiesoftware

Bij deze cursus heeft u een CD-rom met simulatiesoftware ontvangen. Met dit programma kunt u de theorie van dit hoofdstuk in de praktijk oefenen.



Figuur 119 Simulatiesoftware

Het programma heeft een help-bestand met een eenvoudige gebruikershandleiding. Als u in het programma de regelaar instelt met een versterkingsfactor van 1 (zie handleiding software), dan kunt u de opdrachten in dit hoofdstuk ook hiermee uitwerken. De toevoercapaciteit in het voorbeeld van **figuur 115** en (0-300l/min.) kunt u bij het programma beschouwen als 0-100%. Een niveau van 5 meter is 50% en een basisprocesconditie met een niveau van 5 meter is een setpoint van 50%.

Opgaven

- 140.** Vul in de tabel van **figuur 120** het niveau in (% en meter) bij de gegeven toevoercapaciteiten.
- 141.** Vul bij de tabel van **figuur 120** ook de statistische afwijking in bij de verschillende toevoercapaciteiten.

Toevoer l/min.		Niveau		Statische afwijking
	toevoer software	%	m	
0	0%			
30				
90				
150	50%			
210				
300	100%			

Figuur 120 Uitwerking opgaven

Uit het voorgaande blijkt dat er een vast verband is tussen de toevoercapaciteit en het niveau.

Static offset is het blijvende, stabiele verschil tussen het gewenste niveau en het werkelijk gemeten niveau.

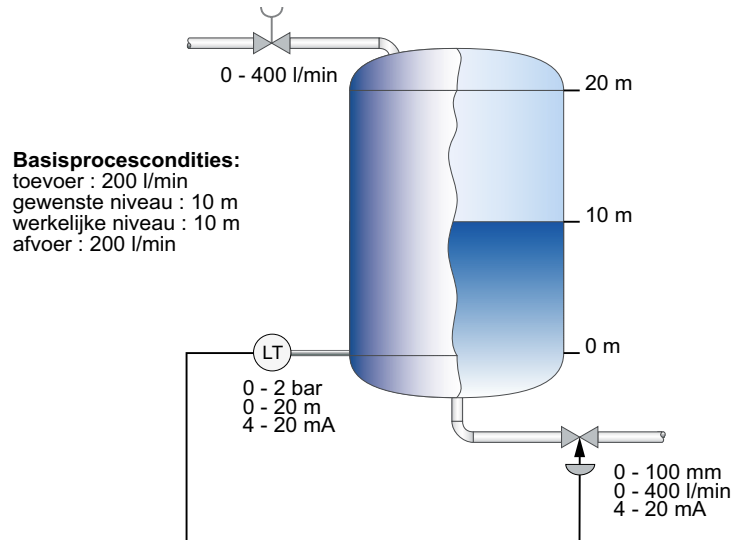
Algemener gezegd betekent static offset het blijvende, verschil tussen de gewenste waarde (setpoint = SP) en gemeten waarde (Measured Value = MV) wanneer het proces in rust is. Er is ook een "dynamische offset" die optreedt zolang met de regeling nog geen stabiel proces verkregen is.

Het begrip static offset wordt vertaald met statische afwijking.

In de praktijk kan offset een probleem zijn in een proces, omdat de gewenste (ingestelde) waarde niet exact wordt bereikt. Door het signaal van de niveautransmitter niet rechtstreeks op de regelklep aan te sluiten maar een proportionele regelaar ertussen te monteren, kan dit offsetprobleem voor een deel worden opgelost. Zonder regelaar wordt de evenwichtssituatie bepaald bij (en door) de keuze van de capaciteit van toe- en afvoer regelklep en het gebruik van de niveautransmitter. Bij de keuze van deze componenten bepaal je ook de "gewenste" niveauwaarde oftewel de basisprocescondities. Dit is in de praktijk niet handig. Door het toepassen van een regelaar kun je later, onafhankelijk van de componenten, een gewenste waarde kiezen. Een regelaar is geschikt voor verschillende processen. Een proportionele regeling kan alleen worden toegepast bij processen waarbij het niet noodzakelijk is exact op een ingesteld setpoint te regelen.

Niveauregeling met regelaar

In **figuur 121** ziet u een buffertank met andere basisprocescondities. Dit systeem is ontworpen om bij wisselende toevoercapaciteiten (0-400 l/min) en een gemiddelde waarde van 200 l/min het niveau op een gewenste waarde van 10 meter te houden.



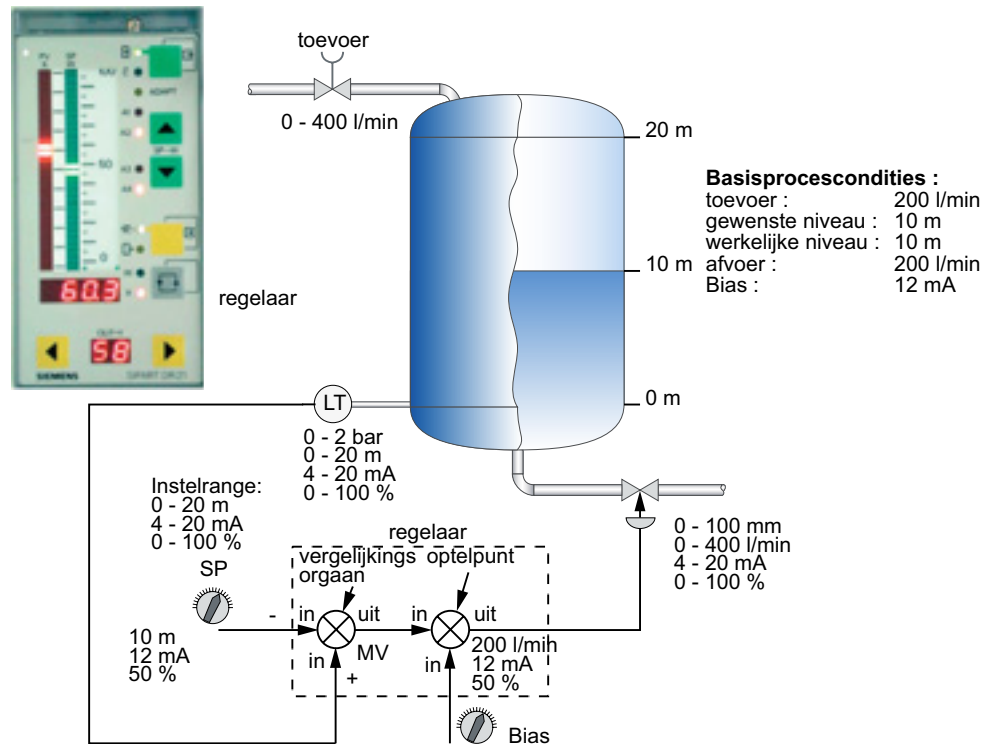
Figuur 121 Buffertank ontwerpcapaciteit 200 l/min

Opgaven

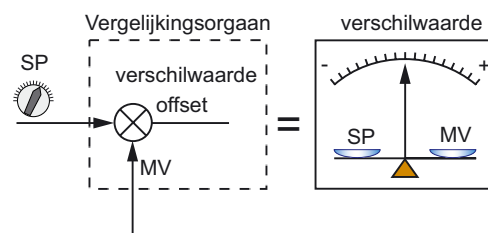
142. Wat is het uitgangssignaal van de niveau-transmitter (leveltransmitter LT) bij een niveau van 10 meter in de tank?
143. Wat is bij het niveau van 10 meter de afvoercapaciteit (l/min) van de regelklep?

Het proces in **figuur 122** is hetzelfde als in **figuur 121**. Er is nu wel een regelaar gemonteerd tussen de niveautransmitter en de regelklep. Bij deze regelaar kunt u een door u zelf gewenste niveauwaarde als setpoint (SP) opgeven met behulp van de toetsen.

Het vergelijkingsorgaan (zie **figuur 122**) is een onderdeel van de regelaar. Hier wordt de ingestelde setpointwaarde (SP) voor het niveau vergeleken met het door de niveaupnemer gemeten niveau (Measured Value=MV) in het proces. U kunt dit ook voorstellen als een balans waar MV en SP tegen elkaar worden afgewogen (zie **figuur 123**).



Figuur 122 Buffertank ontwerpcapaciteit 200 l/min



Figuur 123 Voorstelling verschilwaarde

Wanneer u het setpoint op 10 meter instelt (12 mA) en het gemeten niveau is ook 12 mA (10 meter), dan is het verschil tussen MV en SP $12 \text{ mA} - 12 \text{ mA} = 0 \text{ mA}$. Uit het vergelijkingsorgaan komt dus een signaal van 0 mA. Een constant, blijvend verschil tussen MV en SP heet offset. De offset is in dit geval dus 0. Als we dit signaal van 0 mA, dat hoort bij de basisprocescondities, naar de regelklep sturen gaat deze dicht, terwijl hij juist met 12 mA op een

capaciteit van 200 l/min moet staan. De biasinstelling van de regelaar lost dit probleem op via een optelpunt. In dit optelpunt wordt bij het ingangsignaal (in dit geval de uitgang van het vergelijkingsorgaan) het signaal van de biasinstelling opgeteld.

De bias is een voorinstelling voor de regelklep die ervoor moet zorgen dat deze de juiste stand heeft om bij de basisprocescondities geen offset te hebben. De bias is net als het setpoint in te stellen op de regelaar als een signaal van 4-20 mA (0-100%) hetgeen bij dit proces een capaciteit van de regelklep geeft van 0-400 l/min. De biasinstelling wordt vaak maar één keer ingesteld (meestal op 50%) en verder niet meer veranderd.

In ons voorbeeldproces in **figuur 122** moet, voor de basisprocescondities met een gemeten en gewenste niveau waarde van 10 meter, de regelklep op 200 l/min staan. De bias staat daarom ingesteld op 12 mA.

Opgaven

- 144.** De toevoercapaciteit staat op 200 l/min. We willen een constant niveau van 15 meter in de tank hebben. Waarop moet het setpoint (mA) worden ingesteld?
- 145.** Wat gebeurt er met de signalen (mA) in de regelaar als het setpoint op 15 meter wordt gezet? Wat wordt het niveau in de tank en de stand van de regelklep (l/min)?
- 146.** Het setpoint wordt afgesteld op 8 mA. Wat gebeurt er nu met het signaal van de transmitter, uitgang van de regelaar, de stand van de regelklep en het niveau in de tank?
- 147.** Waarom wordt in het vergelijkingsorgaan het setpointsignaal afgetrokken van het signaal van de gemeten waarde (MV-SP) en niet omgekeerd (SP-MV)?

Zolang de toevoercapaciteit gelijk blijft aan de basisprocesconditie (200 l/min) zal bij een proportionele regelaar het setpoint ook daadwerkelijk het niveau in de tank worden. Bij deze basisprocesconditie ontstaat er geen offset als een ander setpoint ingesteld wordt.

In de praktijk zal er wel een offset ontstaan bij een proportionele regeling als er een ander setpoint wordt ingesteld. Dit wordt veroorzaakt door bijvoorbeeld niet-lineair gedrag van een regelklep of invloed van de vloeistofhoogte op de uitstroom door de klep.

Regelaars worden voor heel verschillende procesregelingen (niveau, temperatuur, druk, capaciteit) gebruikt. Daarbij horen verschillende ranges van transmitters en kleppen. Het is daarom handig om de signalen en de setpointinstelling allemaal uit te drukken

in procenten. In **figuur 122** ziet u bij het setpoint, de biasinstelling, het transmitter-signaal en het outputsignaal ook een procentenschaal staan.

Simulatie opdrachten

Een deel van de opgaven kunt u ook uitvoeren met het simulatieprogramma. De toevoercapaciteit van 200 l/min. komt overeen met 50%. Een setpoint van 10 meter is 50% en 15 meter is 75%.

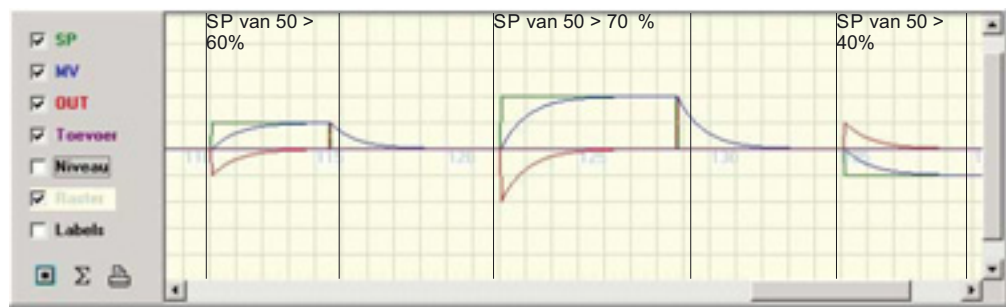
Opgave

148. Wat wordt het niveau als het proces in evenwicht is na een setpointverandering van 50 naar 75%? Wat is dan de offset en het uitgangssignaal van de regelaar?
149. Verander het setpoint van 50 naar 25%. Hoe groot is nu de outputverandering? Is deze evengroot als de setpointverandering? Is dit ook te verwachten in een praktijksituatie?

In **figuur 124** ziet u het effect van een verandering van setpoint op de niveauregeling. De procescondities voor de verandering van het setpoint zijn steeds gelijk:

- setpoint = 50%
- gemeten niveau = 50%
- toevoercapaciteit = 50%
- afvoercapaciteit = 50% uitgangssignaal van regelaar naar regelklep 50%
- tijdas = 1sec/vakje

Het setpoint wordt achtereenvolgens versteld met plus 10% en 20% en met min 10%.



Figuur 124 Responsie van niveauregeling bij verandering van setpoint

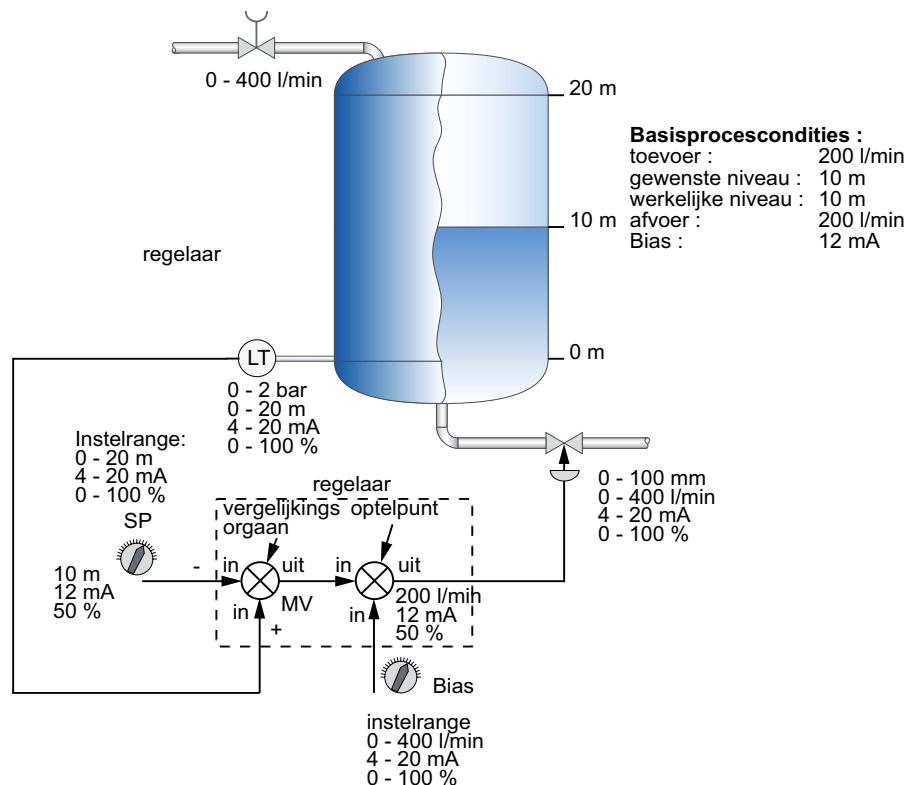
Opgaven

150. Hoe groot is de stapvormige verandering van het uitgangssignaal van de regelaar als het setpoint met plus 10%, plus 20% en min 10% wordt veranderd?
151. Beredeneer met behulp van **figuur 122** dat deze verandering van output in procenten gelijk is aan de verandering van het setpoint in procenten.
152. Wat wordt de eindwaarde van het output-signaal als de regeling weer een evenwichtssituatie heeft bereikt?

Procesverstoreningen en offset

We hebben gekeken naar het gedrag van de regelaar en het proces als het setpoint veranderd wordt, en de basisprocescondities niet veranderen. We gaan nu kijken wat er met de regelaar en het proces gebeurt als we het proces verstoren en het setpoint constant blijft.

In het geval van de buffertank is de procesverstorening een verandering van de toevoercapaciteit ten opzichte van de basisprocesconditie 200 l/min



Figuur 125 Buffertank met niveauregeling

Opgaven

Vanuit de basisprocescondities zoals gegeven in **figuur 125** wordt het proces verstoord: we verhogen de toevoer van 200 naar 300 l/min

153. Wat gebeurt er achtereenvolgens met het niveau in de tank, het signaal van de niveautransmitter (mA), het signaal naar de regelklep (mA) en de capaciteit van de regelklep l/min?

154. Op welk niveau in de tank wordt het proces stabiel?

155. Hoe groot is in dit geval de offset?

156. Hoe groot wordt de offset als vanuit de basisprocescondities het proces wordt verstoord door de toevoercapaciteit op 400 l/min te zetten? En op 100 l/min en 0 l/min?

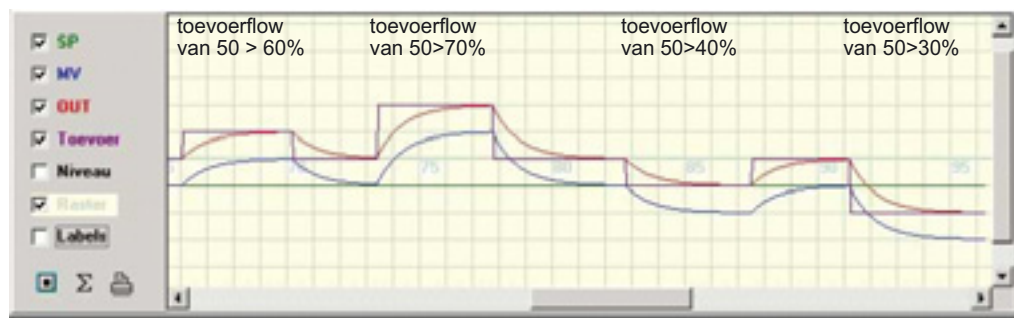
Deze opgaven kunt u zelf uitvoeren en de antwoorden controleren met het simulatieprogramma. Een toevoerverandering van 200 naar 300 l/min komt overeen met een stap van 50 naar 75%.

Bij een proportionele regeling ontstaat er offset als er afwijkingen ontstaan ten opzichte van de basisprocescondities die gebruikt zijn bij het ontwerp. Dit is (bijna) altijd het geval. Bij een grotere procesverstorening (zowel grotere als kleinere toevoercapaciteit) ten opzichte van de basisprocescondities wordt de offset groter.

In **figuur 126** ziet u in een aantal responsies de reactie van een niveauregeling als de toevoercapaciteit in één keer wordt verhoogd of verlaagd.

De startcondities zijn gelijk voor elke procesverstoring:

- setpoint = 40%
- gemeten waarde = 40% (evenwicht)
- toevoercapaciteit = 50%
- afvoercapaciteit = 50%



Figuur 126 Reactie van niveauregeling op procesverstoring in toevoerflow

Opgaven

- 157.** Bepaal met **figuur 126** de offset die optreedt bij de verstoringen in de toevoercapaciteit van: +10 en +20% en van -10 en -20%
- 158.** De procesverstoring is tweemaal zo groot. Is de offset dan ook tweemaal zo groot?
- 159.** Is de offset die ontstaat bij een procesverstoring met +20% gelijk aan de offset bij een verstoring van -20%?

Bij een bepaalde klepstand zal bij een hoog niveau in de tank de afvoercapaciteit groter zijn dan bij een laag niveau. Vergelijk dit met een volle regenton. Uit het gaatje in de zijkant komt een forse straal. Als de ton bijna leeg is komt er een mager straaltje uit. Bij een hoger niveau hoeft de klep minder ver open te gaan om toch al de afvoercapaciteit te bereiken die in evenwicht is met de toevoer.

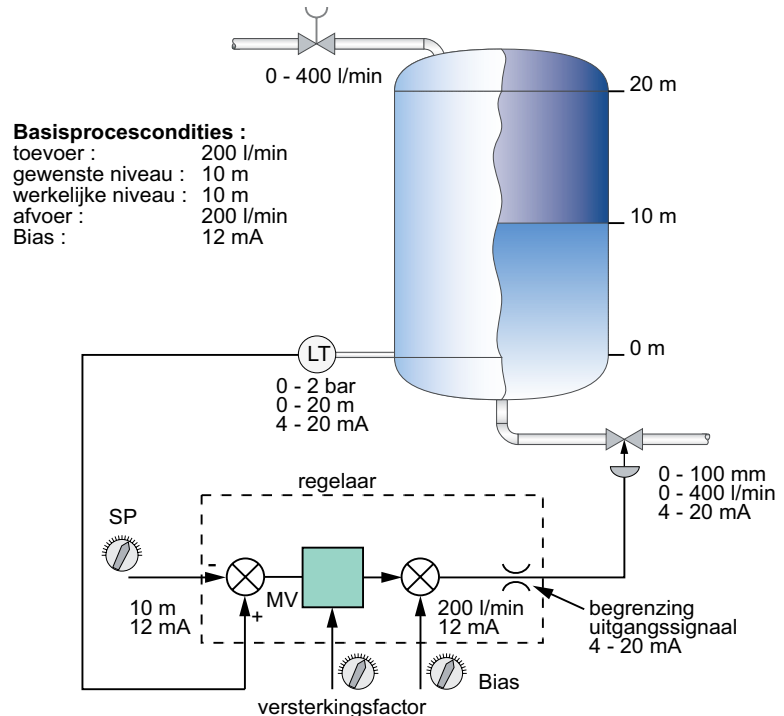
Procesverstoringen in de toevoercapaciteit geven niet altijd een evenredige verandering van de geregelde procesgrootte in dit geval het niveau. Dit noemen we niet-lineair gedrag van een regeling. Dit kan door verschillende onderdelen uit de regelkring worden veroorzaakt zoals:

- proces zelf
- regelklep karakteristiek
- regelaar, opnemer.

(In de voorbeelden van de buffertank gaan we gemakshalve wél uit van lineair gedrag van de regeling. Het niveau in de tank (hydrostatische druk) heeft in onze voorbeelden dus geen invloed op de uitstroomcapaciteit van de regelklep.

Bij een proportionele regelaar kan de waarde van een versterkingsfactor ingesteld worden (zie **figuur 127**). Door de instelbare versterkingsfactor is de regelaar geschikt om heel verschillende processen met andere basispro-

cescondities en componenten te regelen. Met de versterkingsfactor kan ook de offset worden verkleind maar niet totaal worden weggeregeld.



Figuur 127 Buffertank met niveauregeling

Deze versterkingsfactor kun je, net als het setpoint, op de regelaar instellen als een waarde. De versterkingsfactor wordt voorgesteld met de letter K. Bij instrumenten met engelstalige afkortingen wordt de letter G van Gain gebruikt. De versterkingsfactor werkt net als een vermenigvuldiging op een rekenmachine. Als je een versterkingsfactor van 2 instelt zal de waarde van het signaal dat de versterker ingaat met twee worden vermenigvuldigd. Is het verschil tussen MV en SP bijvoorbeeld 3 mA dan is het signaal na de versterker 6 mA.

Opgaven

We gaan uit van de basisprocescondities van **figuur 127**:

- toevoer = 200 l/min
- MV = 10 meter
- SP = 10 meter
- Bias is 12 m
- Afvoer = 200 l/min
- Versterkingsfactor = 1

160. De toevoer wordt van 200 l/min verhoogd naar 300 l/min. Wat gebeurt er achtereenvolgens met: het niveau in de tank, uitgangssignaal van de niveautransmitter (mA), signaal naar de regelklep (mA) en de afvoercapaciteit van de regelklep (l/min)?

- toevoer = 200 l/min
- MV = 10 meter
- SP = 10 meter
- Bias is 12 mA
- afvoer = 200 l/min
- **versterkingsfactor (K) = 2**

We gaan uit van de basis procescondities. Nu is de versterkingsfactor ingesteld op 2.

161. De toevoer wordt van 200 l/min verhoogd naar 300 l/min. Wat gebeurt er achtereenvolgens met: het niveau in de tank, uitgangssignaal van de niveautransmitter (mA), signaal naar de regelklep (mA) en de afvoercapaciteit van de regelklep (l/min)?

- 162.** Welke invloed heeft een versterker met een versterkingsfactor van 2 op de offset?
- 163.** Stel dat een stijging van de toevoercapaciteit van 200 naar 300 l/min een niveauverandering in de tank geeft van 10 naar 10,5 meter. De versterkingsfactor is ingesteld op 10. Wat is dan achtereenvolgens het signaal uit de versterker, het signaal naar de regelklep, de stand en capaciteit (l/min) van de regelklep?
- 164.** Wat wordt de stand en capaciteit van de regelklep als het niveau in de tank van 10 met 0,2 meter daalt bij dezelfde versterkingsfactor?

Simulatieopdrachten

Een deel van deze opgaven kunt u zelf uitvoeren en controleren met het simulatieprogramma. Een toevoerverandering van 200 naar 300 l/min komt dan overeen met een verandering van 50 naar 75%. In plaats van P_b kiest u in het programma bij de regelaar voor een versterkingsfactor K .

Bij een grotere versterkingsfactor wordt de offset kleiner.

Bij een te grote versterkingsfactor gaat het proces oscilleren.. De uitgang slingert dan ergens tussen de 0% en 100%. Bij een aan/uit-regeling gaat de regelklep alleen nog maar maximaal open of helemaal dicht.

De uitgang van een regelaar is begrensd voor het gekozen standaardsignaal, in dit voorbeeld 4 - 20 mA.

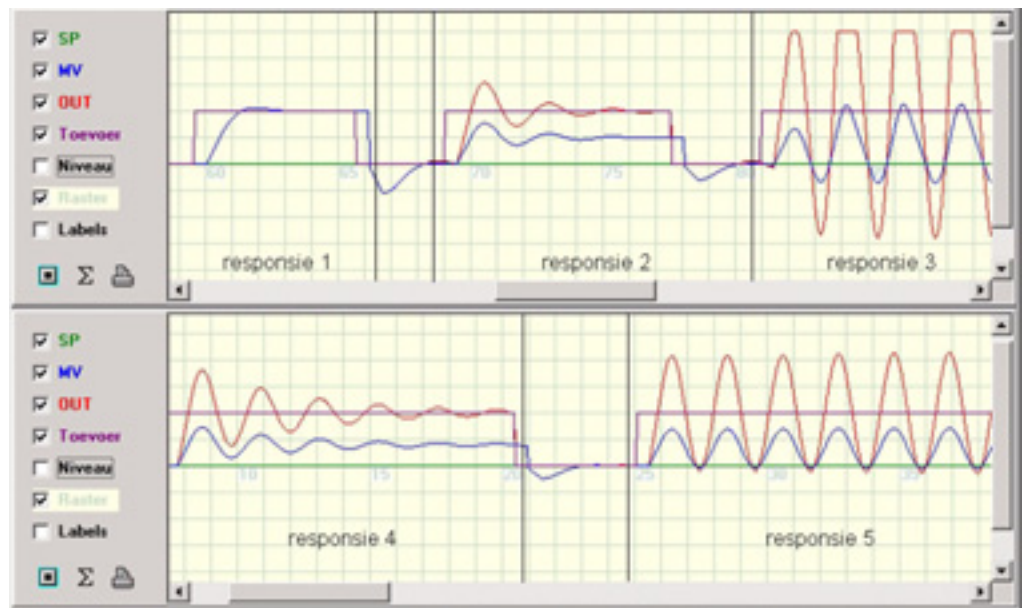
Bij een proportionele regeling verandert de uitgang van de regelaar evenredig (=proportioneel) met een verandering van hetingangssignaal (gemeten waarde). Alleen de versterkingsfactor zit hier als vermenigvuldiging tussen.

Afstellen van proportionele regeling

Bij een proportionele regeling ontstaat bij procesverstoringen offset. Een grotere versterkingsfactor maakt de offset kleiner, maar een te grote versterkingsfactor geeft een instabiele regeling. De regeling gaat oscilleren. Wat is nu een optimale instelling van de versterkingsfactor en hoe vinden we deze?

- SP niveau = 50%
- MV niveau = 50% (regeling is evenwicht)
- toevoercapaciteit = 50%
- afvoercapaciteit = 50%
- verstoring in toevoercapaciteit door een verhoging naar 70%
- tijdas 1 seconde per vakje

In **figuur 128** staan vijf responsies, gemeten bij een niveauregeling met verschillende versterkingsfactoren en een procesverstoring in de toevoercapaciteit. De startcondities zijn voor elke responsie gelijk.



Figuur 128 Niveauregeling met procesverstoring in toevoercapaciteit

Opgaven

responsie	1	2	3	4	5
versterkingsfactor en stapverstoring	K=1 +20%	K=2 +20%	K=4 +20%	K=2,5 +20%	K=3 +20%
tijd nodig om stabiel niveau te krijgen					
offset					

165. Zet in bovenstaand tabel de informatie uit de grafieken van **figuur 128**.

166. Bij welke versterkingsfactor is de regeling het snelst stabiel bij de kleinst mogelijk offset?

Ziegler en Nichols hebben aangetoond dat de optimale versterkingsfactor voor een proportionele procesregeling gevonden kan worden door:

- bij een steeds grotere versterkingsfactor het proces te verstoren, bijvoorbeeld met een kleine verandering (+/- 10%) van het setpoint
- vaststellen bij welke versterkingsfactor het proces een constante oscillatie heeft
- de optimale versterkingsfactor is dan de helft van de waarde van de versterkingsfactor waarbij oscillatie optreedt

Dit is bij benadering de beste versterkingsfactor voor een P-regelaar. Afhankelijk van het proces kan deze instelling nog verder geoptimaliseerd worden.

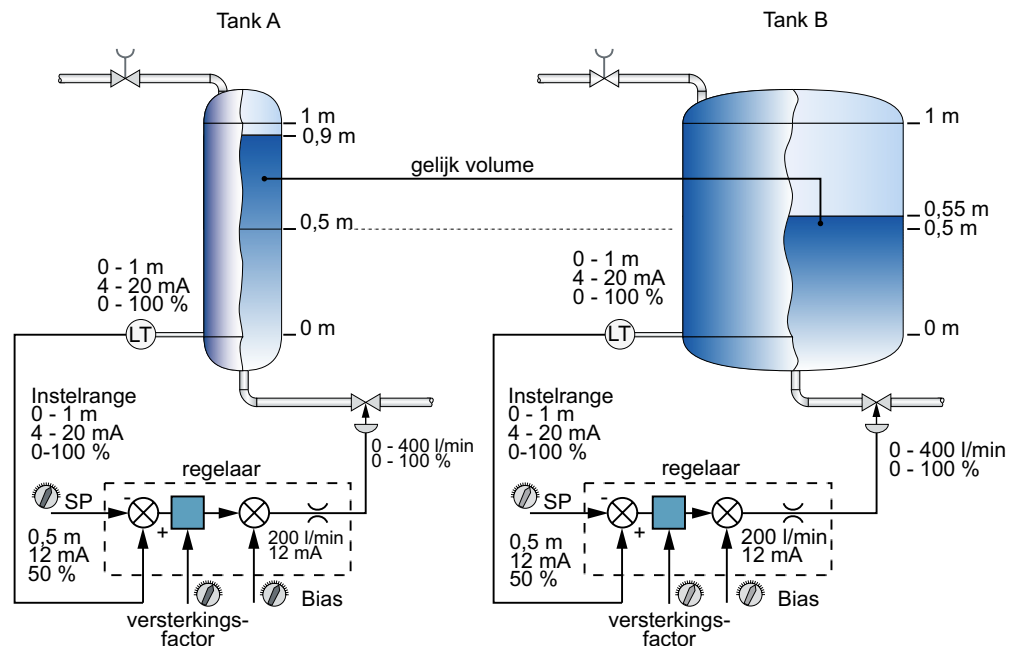
Simulatieopdracht

Stel bij uw simulatieprogramma de volgende startsituatie in: SP=50%; K=1; toevoer 50%; I=off; D=off; capaciteit van het vat 100%. Zet de regelaar op automatisch en wacht tot het proces de evenwichtssituatie bereikt heeft.

- 167.** Breng nu volgens de regels van Ziegler en Nichols het proces in een constante oscillatie door het setpoint te veranderen bij een steeds grotere versterkingsfactor.
- 168.** Bepaal nu de optimale versterkingsfactor en stel deze in.
- 169.** Bekijk nu hoe de regeling reageert op een setpoint verandering van 50% naar 70% en 80%.
- 170.** Bekijk hoe de regeling reageert op een verstoring in de toevoercapaciteit van 50% naar 70% en 80%.

Invloed van procescapaciteit op de versterkingsfactor

In **figuur 129** staan twee gelijke processen en regelingen. Alleen de tankdiameter is anders.



Figuur 129 Verschillende procescapaciteiten

Het proces wordt verstoord door een verhoging van de toevoercapaciteit van 200 l/min naar 300 l/min. Als reactie hierop zal het niveau in de tank in eerste instantie stijgen en afwijken van de ingestelde waarde (0,5 meter). Op één moment is de situatie zoals getekend in **figuur 129**. In tank A is het niveau 0,9 meter en in tank B is het niveau 0,55 meter. Dit is zeker geen stabiele situatie maar een momentopname in de reactie op de procesverstoring.

Opgaven

171. Hoe hoog is het signaal van de niveau-transmitter in tank A en B voor de situatie getekend in **figuur 129**?
172. De versterkingsfactor staat in beide regelaars afgesteld op 5. Hoe hoog is het signaal naar de regelklep bij tank A en bij tank B voor de situatie getekend in **figuur 129**?
173. Hoe hoog wordt als gevolg van het hiervoor gevraagde signaal de capaciteit (l/min) van de regelklep bij tank A en B?
174. Wat is het effect op het proces (niveau) in tank A en B van de hiervoor gevraagde klepstanden?
175. Waarom komt het niveau in tank B wél in evenwicht en in tank A niet?

176. Hoe groot is de offset in tank B als het niveau bij 300 l/min toevoer stabiel geworden is bij een regelaar met een versterkingsfactor van 5?

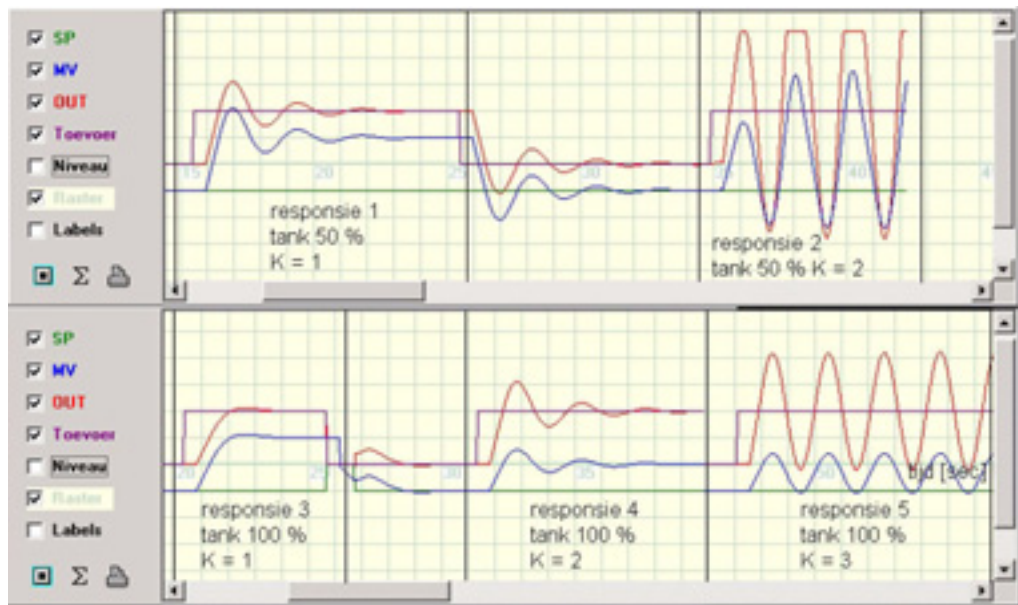
177. We gaan uit van de situatie zoals getekend is bij tank A in **figuur 129**. De versterkingsfactor van de regelaar wordt van 5 op 1 gezet. Wat wordt de offset als het niveau stabiel wordt bij een toevoer van 300 l/min?

178. Verklaar het verschil in offset bij tank A en de offset bij tank B met behulp van de verschillende versterkingsfactoren. Beide met een toevoer van 300 l/min.

In **figuur 130** ziet u de responsies (gemeten waarde, outputsignaal, toe- en afvoerstrom) van een niveauregeling op een verandering van de toevoercapaciteit. De responsies zijn gemeten voor twee verschillende tankvolumes (50% en 100%) door andere diameters en verschillende versterkingsfactoren.

De startcondities zijn steeds gelijk:

- Setpoint en niveau = 40% evenwicht
- toe- en afvoercapaciteit = 50%
- stapverstoring = verhoging toevoercapaciteit met 20%



Figuur 130 Responsie van niveauregeling verschillende tankdiameters

Opgaven

179. Tot welke maximale waarde stijgt het uitgangssignaal van de regelaar bij de responsies 1 en 2?
180. Hoe hoog wordt uiteindelijk het uitgangssignaal van de regelaar bij responsies 1 en 2?
181. Waarom ontstaat er bij responsie 2 een slingering (oscillatie) in het uitgangssignaal?
182. Waarom is het uitgangssignaal na het bereiken van een stabiele situatie voor een tankvolume van 100% gelijk aan die voor een tank met een volume van 50%?

Simulatieopdracht

Stel bij uw simulatieprogramma de volgende startsituatie in: SP=50%; K=1; toevoer 50%; I=off; D=off; capaciteit van het vat 100%. Zet de regelaar op automatisch en wacht tot het proces de evenwichtssituatie bereikt heeft.

183. Stel voor dit proces de optimale versterkingsfactor in volgens de stappen van Ziegler en Nichols.

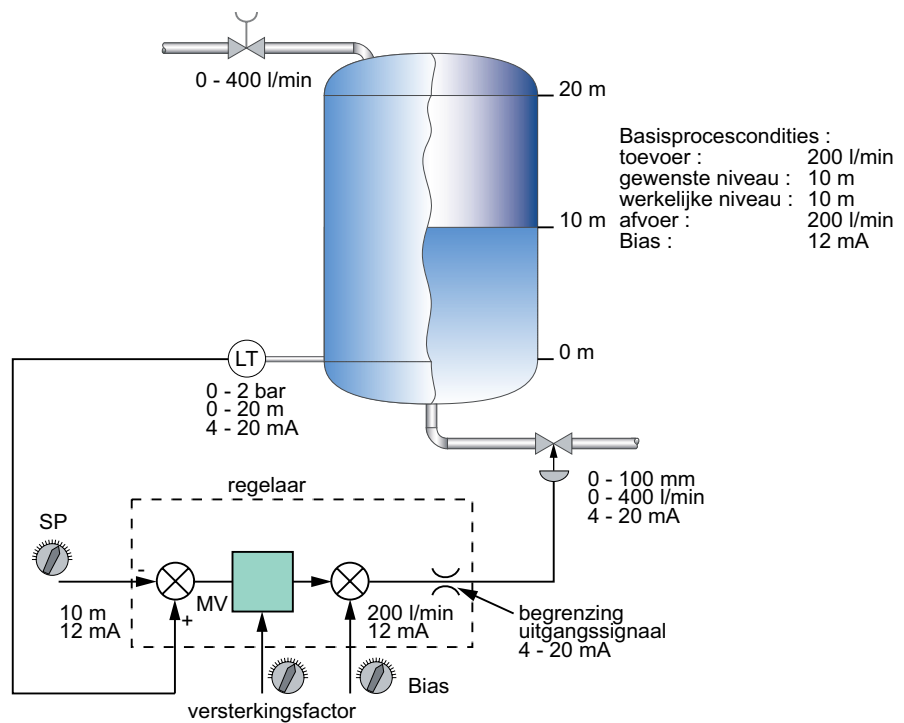
184. Verander nu de capaciteit van het vat van 100% naar 50%. Breng een procesverstoring aan in de toevoercapaciteit van 50% naar 80% en kijk nu hoe het de regeling reageert.
185. Op welke waarde moet de versterkingsfactor worden ingesteld bij deze capaciteit om weer een optimale regeling te krijgen?

Bij een tank met kleine diameter heeft een verstoring in de toevoer een groter effect op het niveau dan bij een tank met grotere diameter. Bij een kleine tankdiameter versterkt het proces zélf het effect van de verstoring. Daarom moet de versterkingsfactor kleiner zijn dan bij een tank met een grotere diameter.

Meer algemeen:

Als de grootte van de procesverstoring in verhouding tot de capaciteit van het geregelde proces klein is kun je een groter versterkingsfactor instellen. Hierdoor kan de offset worden verkleint zonder dat er oscillatie optreedt.

Regelka- rakteristiek van de regelaar



Figuur 131 Buffertank met regelaar voor niveau

In de grafiek van **figuur 132** is de regelaarkarakteristiek van de regelaar van het proces in **figuur 131** getekend.

Voor het proces in **figuur 131** geldt dat een gemeten waarde van 4 mA als ingangssignaal van de regelaar met een versterkingsfactor van 1 een uitgangssignaal van 4 mA naar de regelklep geeft. In **figuur 132** is dit het snijpunt A van de verticale stippellijn van 4 mA (0 meter waterniveau) en de horizontale stippellijn van 4 mA (0 mm = 0 l/min = stand regelklep). Als we alle waarden van het transmittersignaal (gemeten waarde) en de daarbijhorende uitgangssignalen van de regelaar in een grafiek uitzetten krijgen we de regelaarkarakteristiek van **figuur 132**. De dikke stip in het midden van de lijn geeft het setpoint aan. In deze grafiek is naast het signaal van de regelaaruitgang ook de overeenkomstige stand van de klep en de capaciteit weergegeven.

Opgaven

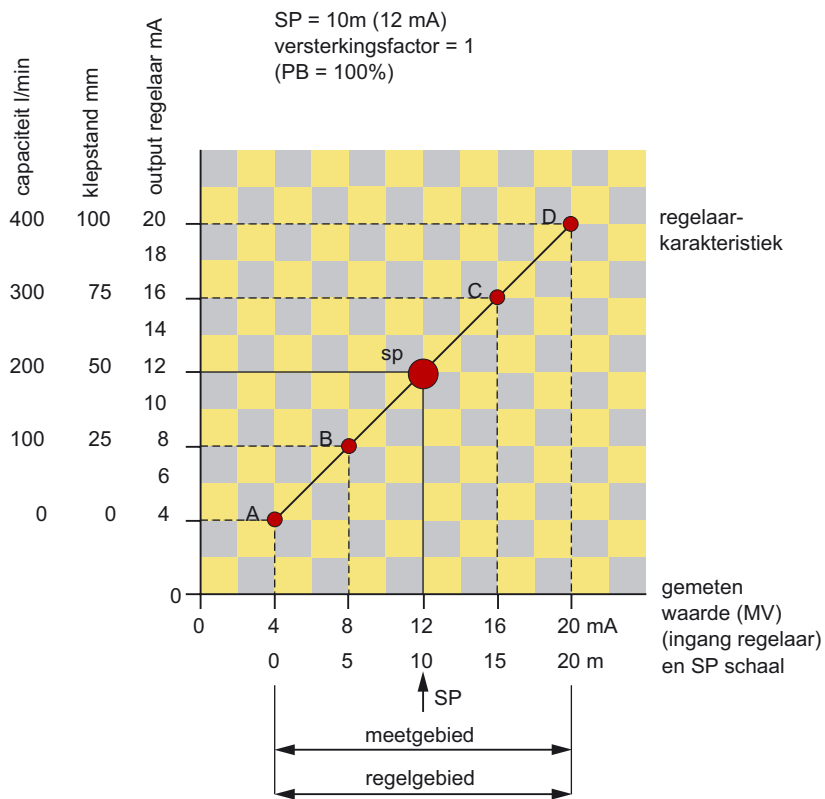
186. Lees in **figuur 132** af hoe groot de capaciteit van de regelklep zal zijn (l/min) bij een gemeten waarde van 8 mA (5 meter waterniveau) en bij 16 mA (15 meter waterniveau).

187. Bereken met behulp van het procesplaatje in **figuur 131** dat de gevonden antwoorden in de praktijk ook kloppen.

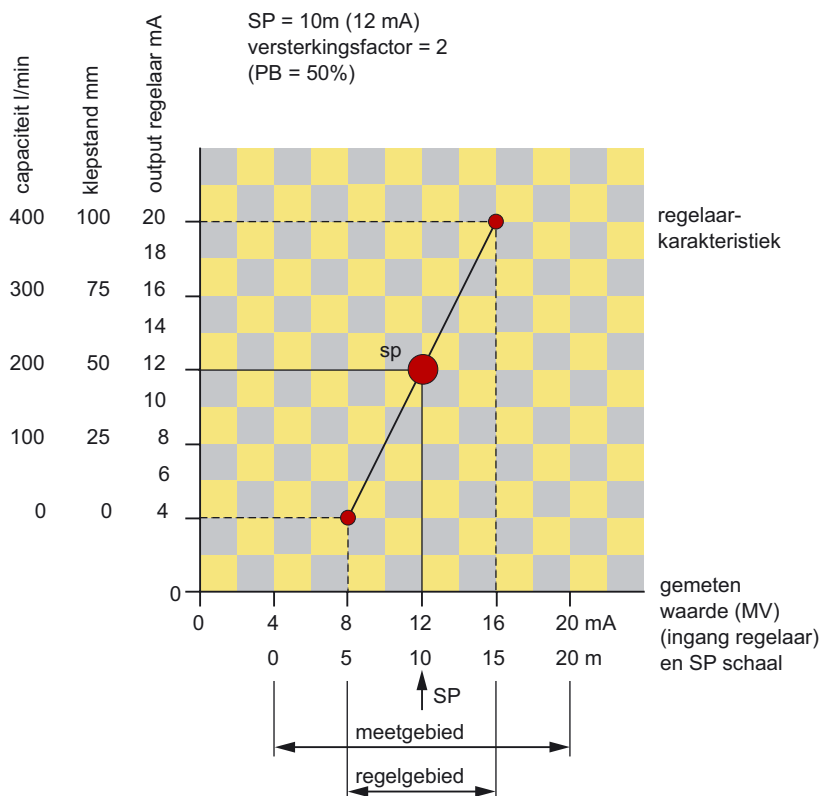
188. Waarom ligt het setpoint in het midden van de grafieklijn van **figuur 132**?

De regelaaruitgang is begrensd tussen 4-20 mA. Dit komt overeen met de grenswaarden van het standaardsignaal naar de regelklep. Bij de meeste regelaars is dit wel instelbaar.

(voor een installatie waar 4-20 mA als standaardsignaal gebruikt wordt)



Figuur 132 Regelaarkarakteristiek met versterkingsfactor van 1



Figuur 133 Regelaarkarakteristiek met versterkingsfactor van 2

In **figuur 133** is nogmaals de regelaarkarakteristiek gegeven van de regelaar voor het proces van **figuur 131**. De versterkingsfactor staat nu op twee.

Opgaven

189. Lees in **figuur 133** wat de capaciteit (l/min) van de regelklep is bij een ingangssignaal (gemeten waarde) van 4mA (0 m), 8 mA (5 m), 12 mA (10 m), 16 mA (15 m) en 20 mA (20 m).

190. Waarom is het regelgebied in **figuur 133** kleiner dan het meetgebied?

191. Bij welke waarde van de versterkingsfactor is het regelgebied groter dan het meetgebied? Verklaar ook waarom dit zo is en wat er in de praktijk gebeurt in het proces van **figuur 131**.

De versterkingsfactor (K of ook wel G van Gain) wordt ook wel in procenten uitgedrukt en heet dan 'proportionele band' (PB). Bij een versterkingsfactor van 1 wordt het ingaande signaal vermenigvuldigd met 1 en is het ingaande signaal 100% van het uitgaande signaal van de versterker.

Is de versterkingsfactor 2 dan is het uitgaande signaal twee maal zo groot als het ingaande signaal. Anders gezegd, hetingangssignaal van de versterker is 50% van het uitgangssignaal. Je kunt ook zeggen dat het regelgebied (signaal naar de regelklep) 50% van het meetgebied is (zie **figuur 133**).

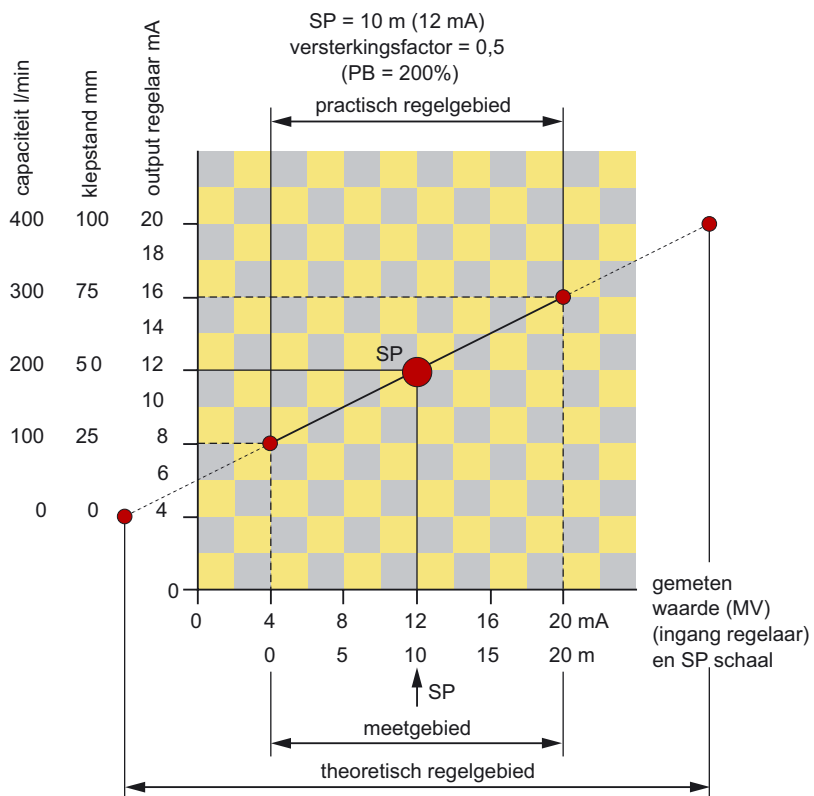
Geheugensteuntje:

$K < 1$ komt overeen met $PB > 100\%$
 $K = 1$ komt overeen met $PB = 100\%$
 $K > 1$ komt overeen met $PB < 100\%$

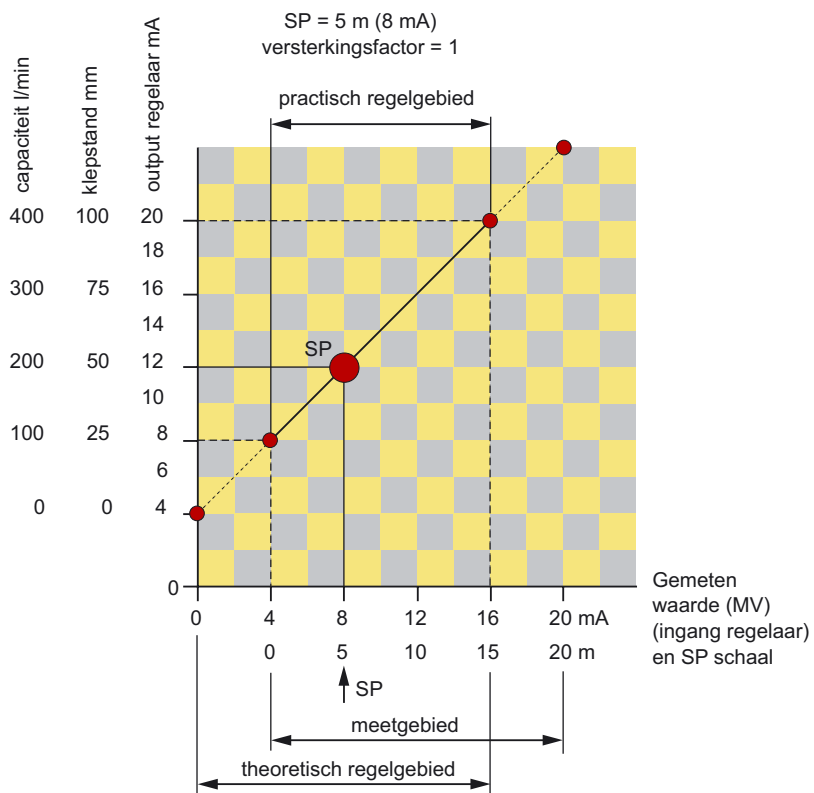
Opgaven

192. Hoe groot is de proportionele band (in procenten) als de versterkingsfactor op 0,5 staat?

In **figuur 134** is de regelaar van het proces in **figuur 131** gegeven met een versterkingsfactor van 0,5. Het setpoint is ingesteld op 10 meter (12 mA).



Figuur 134 Versterkingsfactor 0,5 setpoint 10 meter



Figuur 135 Versterkingsfactor 1, setpoint 5 meter

193. Verklaar de grafiek van **figuur 134** met behulp van het proces in **figuur 131**. Wat is de maximale en minimale klepstand (l/min en mA) van de regelklep volgens de grafiek in **figuur 134**?

194. Verklaar de termen meetgebied, praktisch regelgebied en theoretisch regelgebied met de gegevens uit **figuur 131**.

195. Wat is in **figuur 134** het meetgebied en het regelgebied?

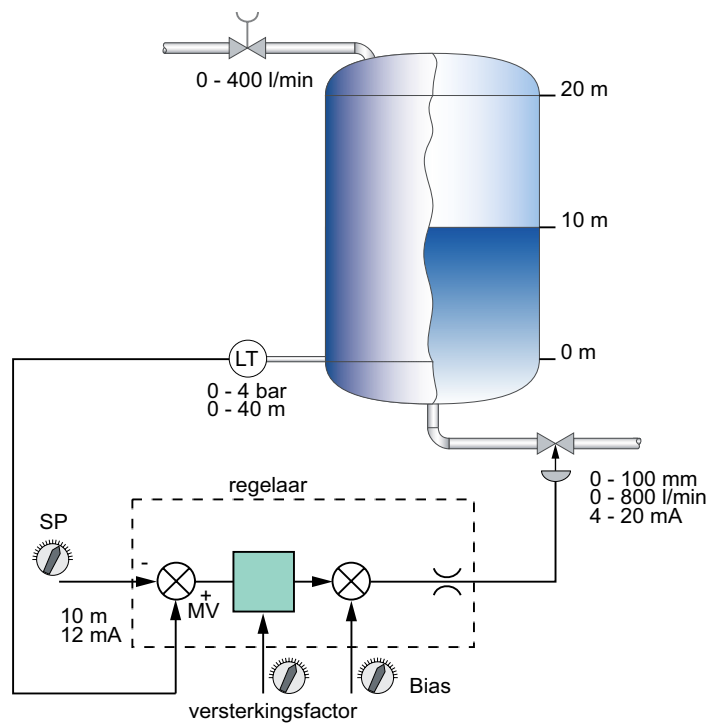
In **figuur 135** is ook een regelaarkarakteristiek gegeven voor het proces in **figuur 131**. De proportionele band is op 100% ingesteld, het setpoint is verschoven van 10 meter (12 mA) naar 5 meter (8 mA).

196. In **figuur 131** staat het setpoint op 5 meter. Beredeneer achtereenvolgens voor een niveau van 0 en 20 meter hoe groot de offset kan worden en wat het minimale en maximale signaal (mA) naar de regelklep is.

197. Hoever kan de regelklep maximaal open en dicht (mA en l/min) volgens de grafieklijn in **figuur 135**?

198. Verklaar ook volgens **figuur 135** de termen praktisch regelgebied, theoretisch regelgebied en meetgebied.

Invloed van
niveaupo-
nemerrange en
de doorlaat van
de regelklep



Figuur 136 Aangepast meetgebied niveauzender 0-40 meter en regelklep 0-800 l/min

In **figuur 136** zijn twee veranderingen in het proces doorgevoerd. Er is een niveauzender met een range van 0-40 meter gemonteerd en een regelklep met een capaciteitsrange van 0-800 l/min (de klep en transmitter worden vooraf niet gekalibreerd voor deze toepassing).

Opgaven

199. Wat is de minimale en maximale waarde (mA) van het signaal van de niveautransmitter naar de regelaar?

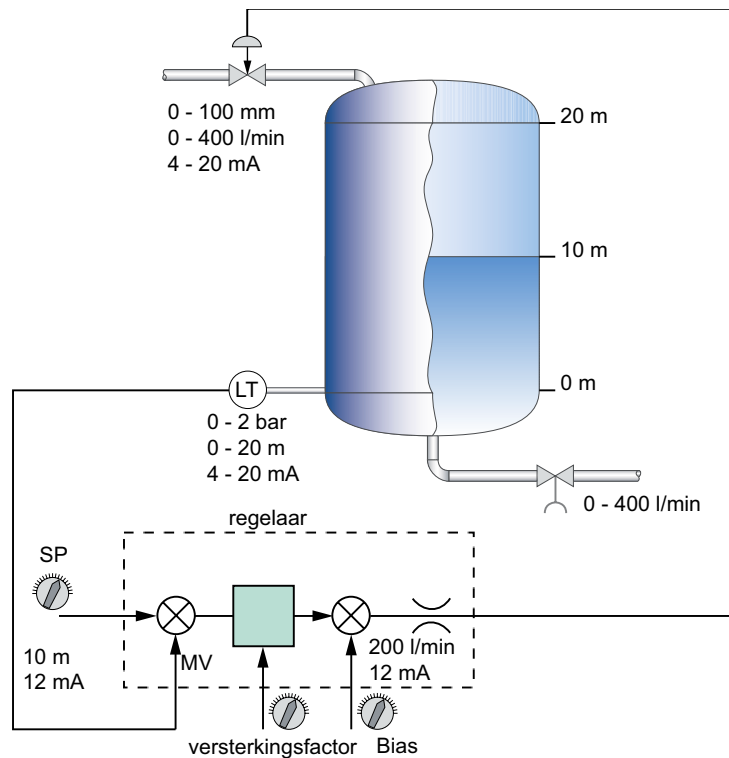
De basisprocescondities voor dit proces zijn:

- toevoerflow = 200 l/min
- gewenste waarde = 10 meter
- gemeten waarde = 10 meter
- offset = 0, proces in evenwicht

200. De versterkingsfactor staat op 1. Als het proces in evenwicht is, wat moet dan de afvoercapaciteit zijn (l/min)?

201. Ga uit van een evenwicht bij een niveau van 10 meter en een offset van 0. Wat moet dan de biasinstelling zijn?

Toevoerregeling met omgekeerd werkende regelaar



Figuur 137 Toevoerregeling

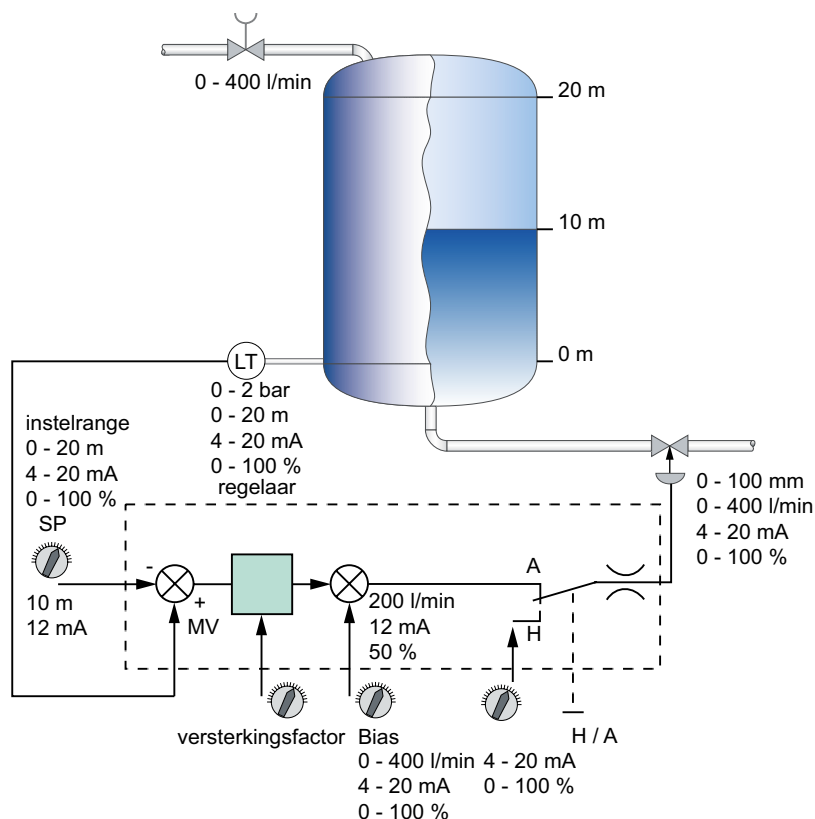
In **figuur 137** ziet u opnieuw een niveauregeling in een buffertank. In dit voorbeeld wordt niet de afvoer geregeld, maar de toevoercapaciteit.

Opgaven

- 202.** Doordat de afsluiter in de afvoerleiding van 200 l/min naar 100 l/min is versteld, stijgt het niveau in de tank. Bereken met behulp van **figuur 137** wat er met de stand van de regelklep zal gebeuren.
- 203.** Bij een direct werkende regelaar wordt in het vergelijkingsorgaan de waarde van het setpoint afgetrokken van de gemeten waarde. Bereken wat er bij een omgekeerd werkende regelaar bij het vergelijkingsorgaan moet gebeuren. Hou hierbij rekening met de gewenste klepactie van de vorige vraag. Geef in **figuur 137** bij het vergelijkingsorgaan met een + en - teken dat we te maken hebben met een omgekeerd werkende regelaar.

Hand-automatisch stand van regelaar

In **figuur 138** ziet u de niveauregeling waarbij de regelaar nu is voorzien van een schakelaar voor een keuze tussen handbediening=H (manual=M) en automatisch=A (Automatic=A).



Figuur 138 Regelaar met keuze handbediening of automatisch

Opgaven

De keuzeschakelaar staat in de stand automatisch. De niveautransmitter is defect geraakt en geeft bij ieder niveau in de tank een signaal van 20 mA.

204. Wat is het gevolg van deze defecte transmissier voor de stand van de regelklep?

205. Wat gebeurt er met het niveau in de tank?

Als de H/A-keuzeschakelaar op de regelaar in de stand H wordt gezet, kunt u zelf (met een draaiknop of drukttoetsen op de regelaar) rechtstreeks een signaal naar de regelklep sturen. U kunt dit vergelijken met het aansluiten van een stroombron (4-20 mA) op de ingang van de regelklep.

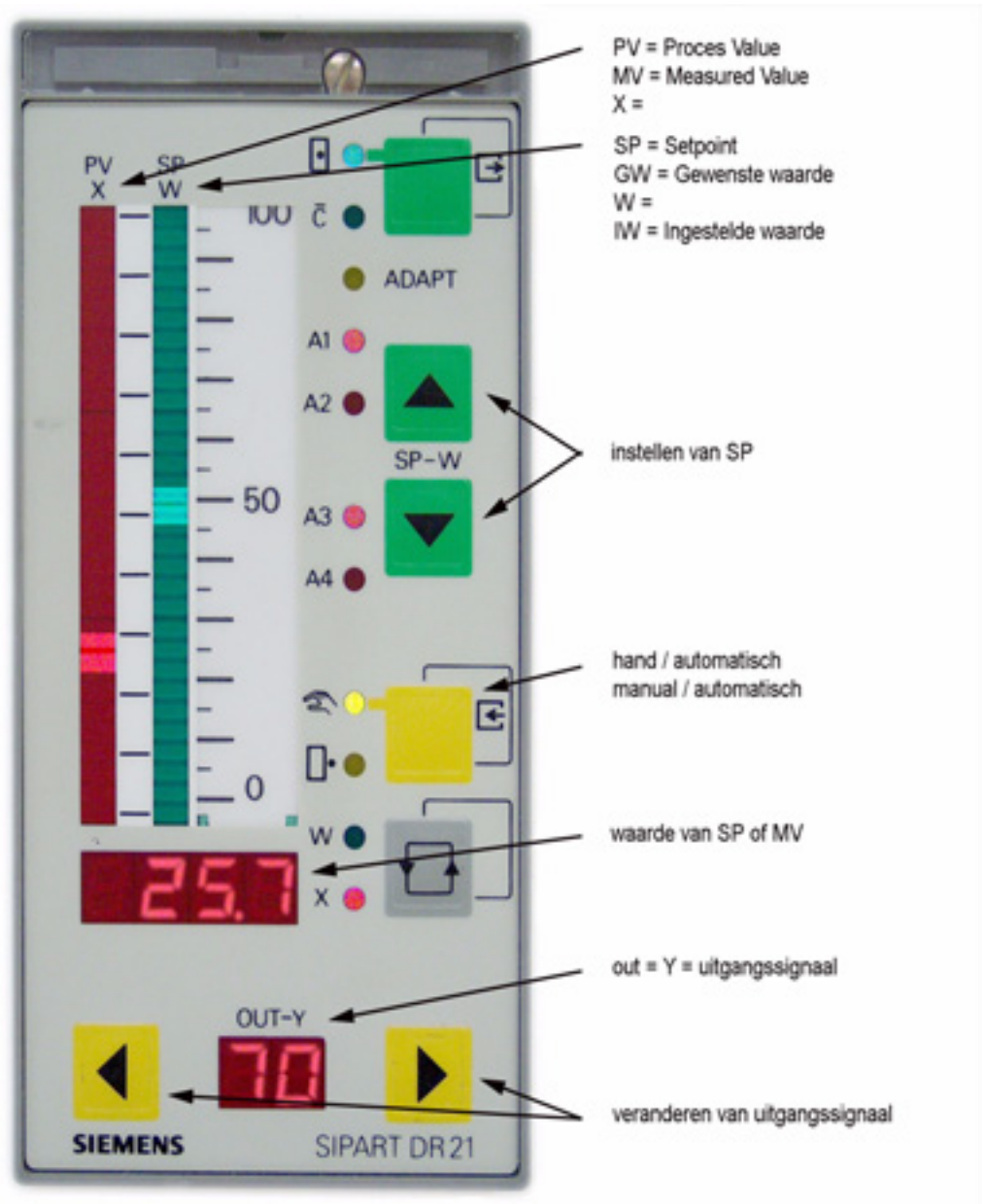
206. Welk signaal (mA) stelt u in om het niveau op 10 meter te houden bij een toevoer van 200 l/min?

207. Stel de niveautransmitter is vervangen en de regelaar staat op handbediening. Kunt u dan de gemeten waarde aflezen op de regelaar? Verandert hierdoor de waarde van het outputsignaal van de regelaar?

208. In welke andere situaties is de H/A-keuzeschakelaar nuttig?

209. De regelaar staat op handbediening. Het uitgangssignaal wordt op 50% ingesteld. Hoe hoog wordt het uitgangssignaal in mA en de capaciteit van de regelklep (l/min)?

In **figuur 139** ziet u een voorbeeld van een regelaarfront met de belangrijkste bedieningsfuncties en weergaven van de belangrijkste signalen. Bij deze regelaar worden SP en uitgangssignaal met pijltjestoetsen verhoogd en verlaagd.



Figuur 139 Bedieningsfuncties op een regelaarfront

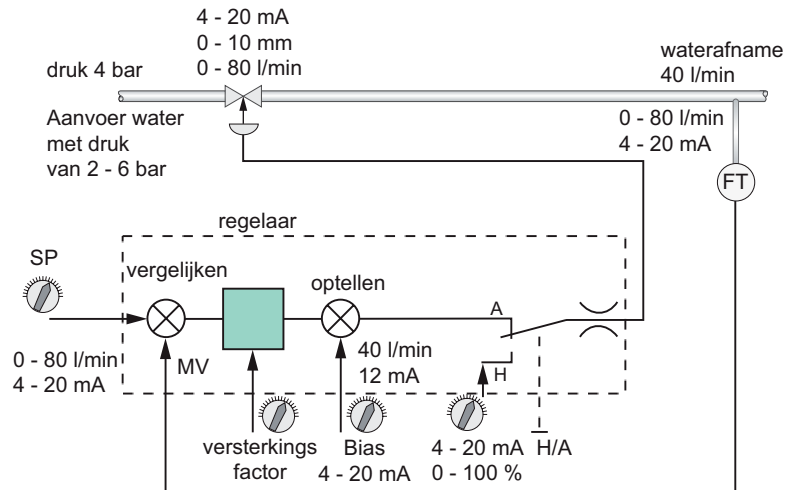
Opgaven

- 210.** Hoe kunt u zien dat de regelaar in handbediening staat?
- 211.** Zal de regelaar in de stand handbediening naar het setpoint toe regelen?

- 212.** De regelaar wordt in de stand automatisch gezet. Wordt het uitgangssignaal dan hoger of lager of blijft het gelijk? Geef bij het antwoord aan waar dit van afhankelijk is.

Flowregeling

In **figuur 140** is een proportionele regelaar toegepast om de capaciteit van een vloeistofstroom (flow, l/min) te regelen. De flowregeling werkt vrijwel gelijk aan de niveauregeling. Er wordt nu een flow gemeten die via de regelaar een regelklep aanstuurt.



Figuur 140 Flowregeling met proportionele regelaar

De basisprocescondities zijn:

- voedingsdruk van waterleidingmaatschappij 4 bar
- SP = 40 l/min
- MV = 40 l/min
- bias = 50 %
- regelklep 50% open is 40 l/min

216. Als een kleine drukverandering in het leidingnet een grote verandering in flow geeft, moet de versterkingsfactor van de regelaar dan groot of klein gekozen worden? Geef een verklaring bij uw antwoord.

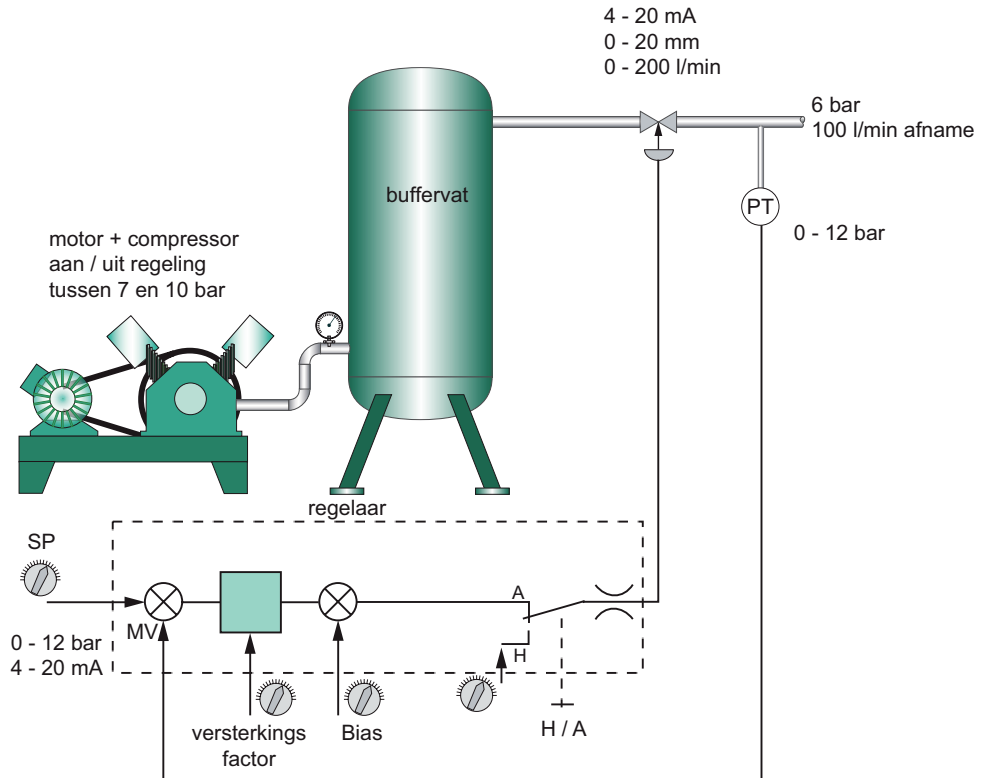
De range van de regelklep en de flowtransmitter zijn afgestemd op deze basisprocescondities. De procesverstoring is in dit geval de wisselende druk in het net van de waterleidingmaatschappij.

Opgaven

- 213.** Geef in **figuur 140** bij het vergelijkingsorgaan met een + en - aan of het een direct of omgekeerd werkende regelaar moet zijn.
- 214.** Er is een procesverstoring waarbij de waterleidingdruk stijgt naar 5 bar. De flowregeling stelt zich in bij een nieuw evenwicht. Zal de regelklep in dit geval weer op de basisprocesconditie 50% open staan? Verklaar uw antwoord.
- 215.** Geeft een verandering in de waterleidingdruk een snelle verandering in de flow?

Drukregeling

In **figuur 141** ziet u een voorbeeld van een drukregeling met een proportionele regelaar. De druk in het leidingnet voor perslucht moet op een constante waarde van 6 bar worden geregeld. De afname van perslucht wisselt; dit is de procesverstoring.



Figuur 141 Drukregeling met proportionele regelaar

De basisprocescondities zijn:

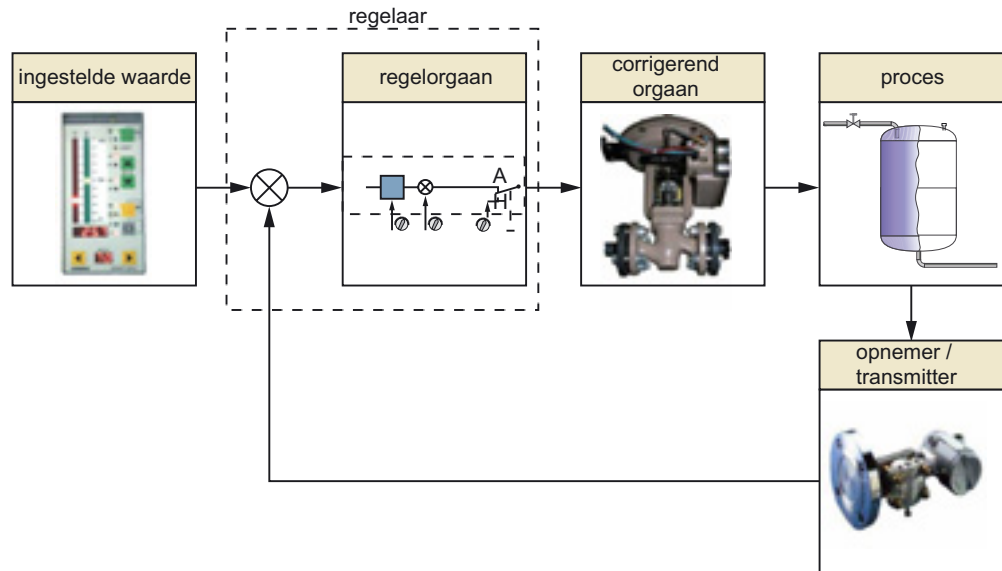
- MV = 6 bar (12 mA)
- SP = 6 bar (12 mA)
- afnamecapaciteit van perslucht 100 l/min
- Regelklep = 50 % (12 mA)

Opgaven

217. Geef in **figuur 141** bij het vergelijkingsorgaan met een + en - aan of het een direct of omgekeerd werkende regelaar moet zijn.
218. Wat is de invloed van de drukschommelingen in het buffervat? Worden deze ook door de regeling opgevangen?
219. Wat gebeurt er met de stand van de regelklep als we het setpoint verhogen naar 8 bar?

In **figuur 142** staat een compleet blokschema van de regelkring. Iedere component (blok) in de kring heeft bij het verwerken en doorgeven van het signaal invloed op de regeling. De regelaar zal zijn ingaande signalen versterkt

doorgeven aan de regelklep. Ook het proces kan door zijn capaciteit een kleine verstoring in de toevoer versterken tot een hoog uitgangssignaal van de transmitter.

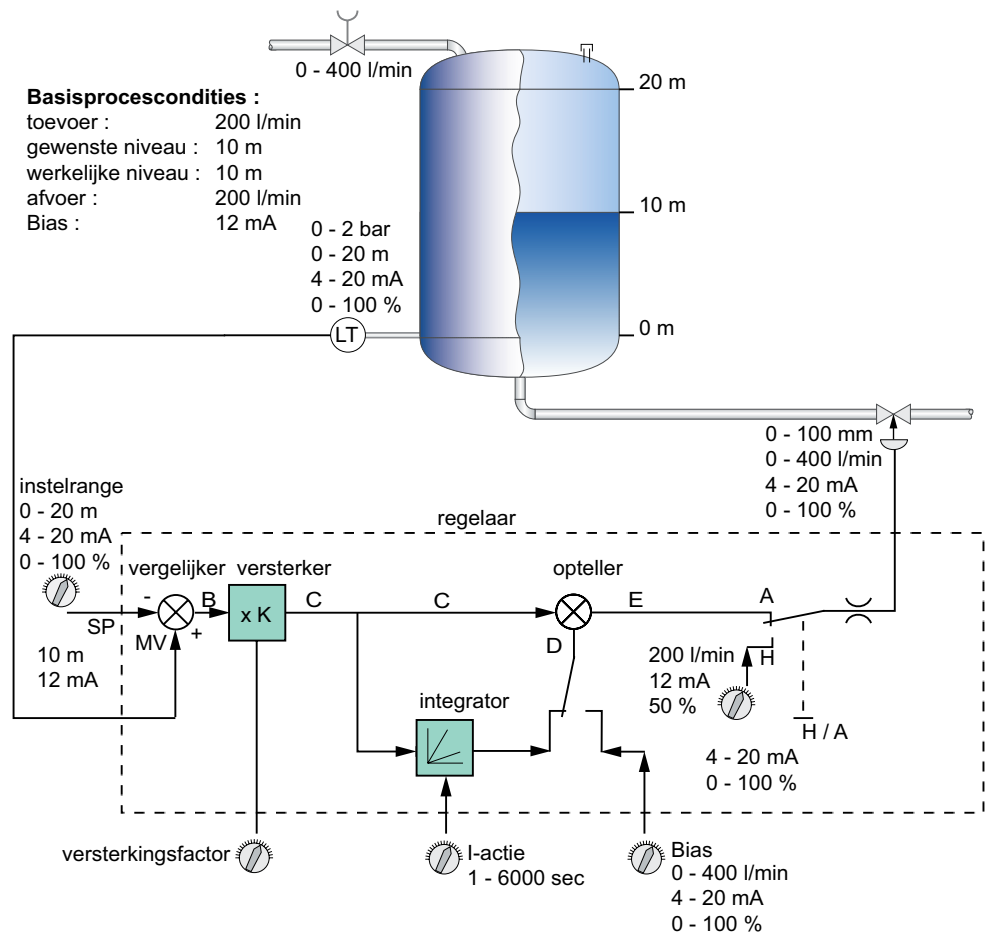


Figuur 142 Blokschema van regelkring

Hoofdstuk 6 Regeling met I- en D- functie

Inleiding

Het proces in **figuur 143** is dezelfde niveauregeling als gebruikt bij de uitleg over de proportionele regelaar. Aan de regelaar is nu een I-actie toegevoegd door middel van een integratorblok. Is de integrator uitgeschakeld, dan werkt de regelaar nog precies hetzelfde als een proportionele regelaar.



Figuur 143 Regelaar met P-en I-functie

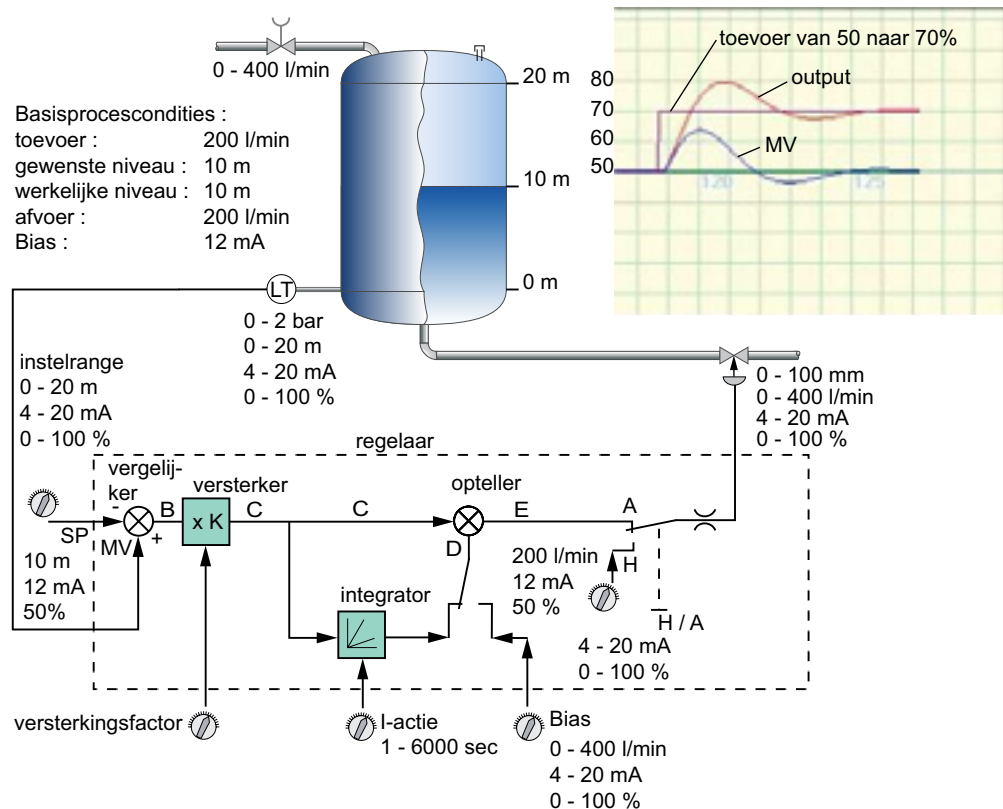
Gegeven is dat de toevoer op 50% staat, de afvoer op 50% en het SP ook op 50%. De integrator is uitgeschakeld, de versterkingsfactor $K = 1$ en de bias staat op 50%.

Wordt de toevoer verhoogd van 50% naar 70%, dan zal de regelklep automatisch ook naar 70% gestuurd worden. Hierna is het proces van toe- en afvoer opnieuw in evenwicht. De output van de regelaar is dan ook 70%. De bias staat op 50% en dus zal op punt C in **figuur 143** na de versterker een signaal van $70 - 50 = 20\%$ staan. De verschilwaarde op punt B is de offset: in dit geval 20%.

De functie van de integrator is: het wegwerken van de offset. Schakelen we de integrator in, dan wordt in principe de offset weggeregeld waardoor SP en MV gelijk worden. Zolang er offset op punt B is, en daardoor een signaal op punt C in **figuur 143**, verhoogt de integrator het signaal op punt D. De output van de regelaar wordt hierdoor hoger dan in het geval er geen integrator zou zijn. De klep wordt dus meer dan 70% open gestuurd. Het niveau in de tank, dat tengevolge van de verhoogde toevoer in eerste instantie stijgt, zal weer gaan zakken; immers de afvoer is boven de 70% en dus hoger dan de toevoer van 70%. Het proces komt uiteindelijk weer in evenwicht bij een toe- en afvoer van 70%, maar nu wel bij een niveau gelijk aan het SP. De offset is 0% geworden en door de integrator geheel

weggewerkt. Het signaal in punt B is nul, het signaal in punt C ook en daarmee het ingangssignaal van het I-functieblok. Het uitgangssignaal van het I-functieblok houdt de waarde vast die hij heeft als de offset 0% geworden is en het proces in evenwicht. De integrator heeft de offset weggevoerd en de proceswaarde weer op het setpoint gebracht.

Omdat de toevoer nu 70% is, moet de regelaaruitgang ook op 70% staan en dat is dan ook het signaal op punt D. In de grafiek naast de tank van **figuur 144** is dit proces grafisch weergegeven.



Figuur 144 P- en I-regeling

Opgave

We gaan uit van het proces in **figuur 144**. De regelaar is met P- en I-actie ingesteld. Het setpoint is 50% en de regelklep in de toevoer staat op 70% capaciteit, versterkingsfactor 1.

In de tabel **figuur 145** zijn voor tijdstippen t1 tot en met t6 zes verschillende tussenstappen gegeven van het regelgedrag. Het tijdstip t1 is de uitgangsconditie en t6 is een stabiele eindsituatie. De punten B tot en met E horen bij **figuur 144**. Het proces is in dit geval in stappen beschreven, in werkelijkheid veranderen de waarden continu.

	Niveau (MV)	B (Offset)	C	D (I-actie)	E (uitgang)	Stijgt of daalt het niveau of blijft het constant?
t1	70 %			50 %		
t2	70 %			60 %		
t3	60 %			70 %		
t4	50 %			80 %		
t5	40 %			70 %		
t6	50 %			70 %		

Figuur 145 PI-regelaaractie

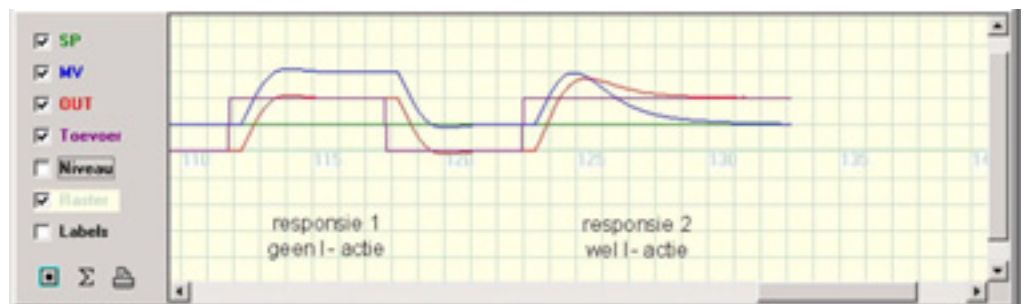
220. Bepaal de ontbrekende signaalwaarden van de punten B tot en met E in de tabel van **figuur 145**. Beredeneer dit aan de hand van **figuur 144** telkens voor één tijdstip. Geef in de laatste kolom ook aan of, bij de gegeven waarde het niveau zal stijgen of dalen en wat dit weer voor effect heeft op MV en daarmee op de offset.

221. Waarom neemt de I-actie af tussen t_4 en t_5 ?

In **figuur 146** ziet u twee responsies van een niveauregeling na een verstoring in de toevoercapaciteit. De responsies zijn van een andere niveauregeling dan geschetst in **figuur 144**. Bij de eerste responsie is de I-actie uitgeschakeld en bij de tweede responsie is een I-tijd ingesteld.

De startcondities voor de verstoring zijn gelijk:

- setpoint en niveau = 60% in evenwicht
- toe- en afvoercapaciteit = 50%
- verstoring = verhoging toevoercapaciteit 50-70%



Figuur 146 Niveauregeling zonder en met I-actie in de regelaar

Opgaven

222. Verklaar waarom het uitgangssignaal van de regelaar, na het bereiken van de stabiele eindsituatie, gelijk is voor responsie één en twee.

223. Hoe groot is de offset als er géén I-actie wordt toegepast in de regelaar?

224. Bij responsie twee ontstaat een maximum in het niveau waarna de gemeten waarde weer daalt. Wat is bij dit niveau het uitgangssignaal van de regelaar? Wat is

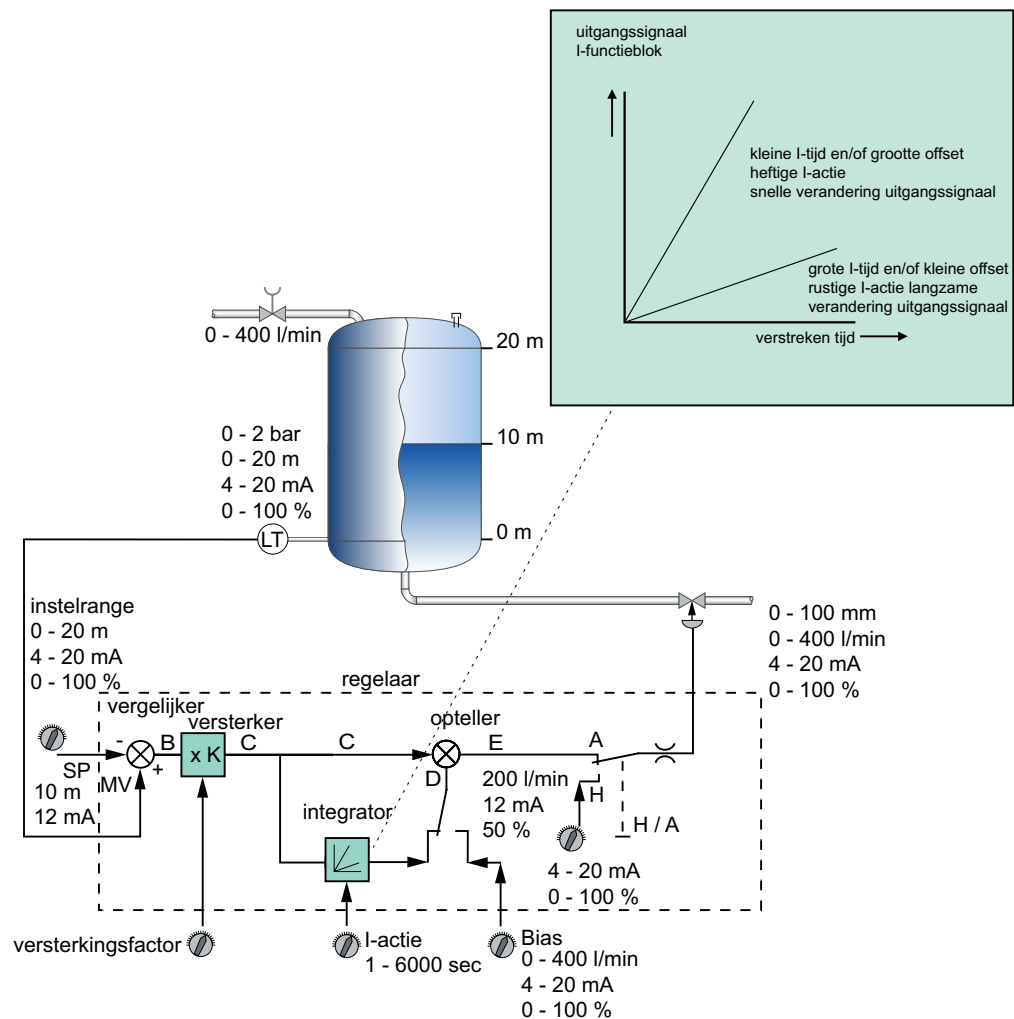
bij responsie één het uitgangssignaal bij hetzelfde niveau? Wat is dan het 'netto effect' van de I-actie op het uitgangssignaal?

De snelheid waarmee het uitgangssignaal van de integrator verandert is afhankelijk van twee dingen:

- de grootte van het ingangssignaal (offset)
- en de zelf in te stellen integratietijd (I-tijd).

De I-tijd kan worden ingesteld van 1 seconde tot bijvoorbeeld 6000 seconden of een oneindige tijd. In **figuur 147** ziet u het effect van de I-tijd op de verandering van het uitgaande signaal van het I-blok grafisch weergegeven. We willen dat de PI-regeling de offset zo snel mogelijk wegwerkt. Een simpele

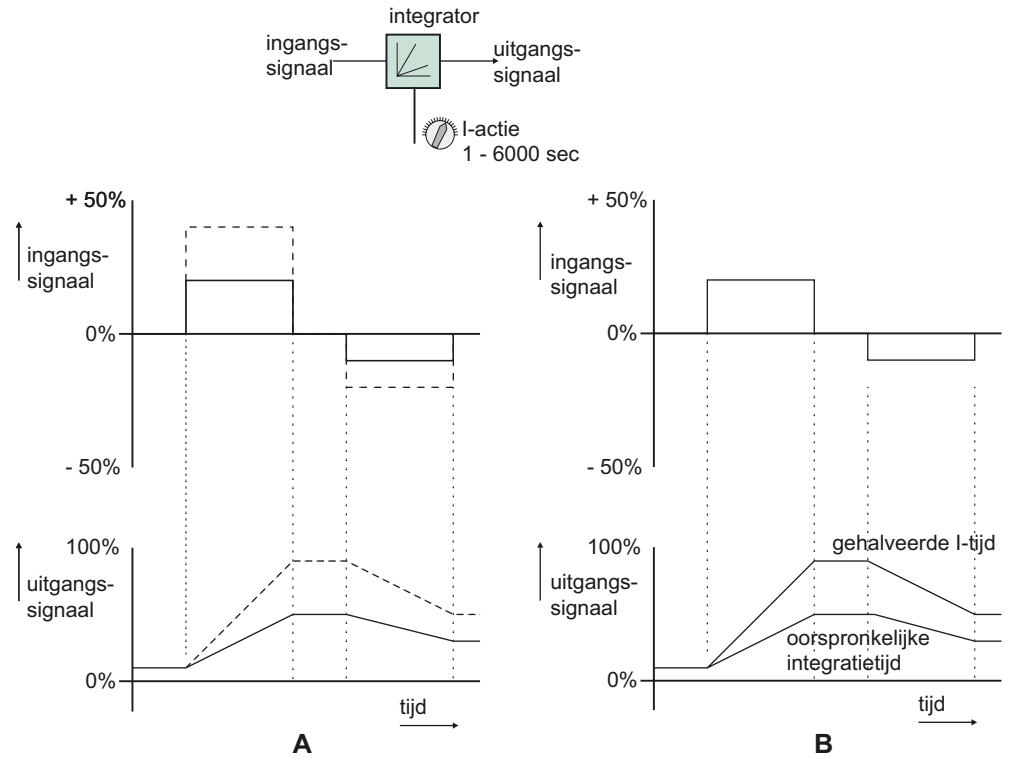
conclusie zou zijn: zet de I-tijd zo kort mogelijk (bijvoorbeeld 1 seconde). De uitgang wordt dan snel verandert en dan wordt de offset het snelst weggewerkt. Jammer genoeg werkt dat niet zo eenvoudig. Een te korte I-tijd geeft te snel een groot extra signaal op punt D in **figuur 147** daarmee op de regelaaruitgang. De klep gaat te ver open of dicht en daarmee schiet het niveau voorbij het setpoint waarna het omgekeerde plaatsvindt. Het proces gaat pendelen.



Figuur 147 Instellen van I-actie

In **figuur 148** ziet u op een andere wijze weer-gegeven wat het I-blok doet met een ingang-sig-naal. Bij A ziet u het effect van een tweemaal zo groot ingangssignaal op de uitgang van het I-blok. Bij B ziet u het effect van een gehalveerde integratietijd. U ziet dat

het effect van een tweemaal zo grootte offset gelijk is aan een gehalveerde integratietijd. U kunt dit met uw simulatieprogramma in de testmode zelf uitproberen.



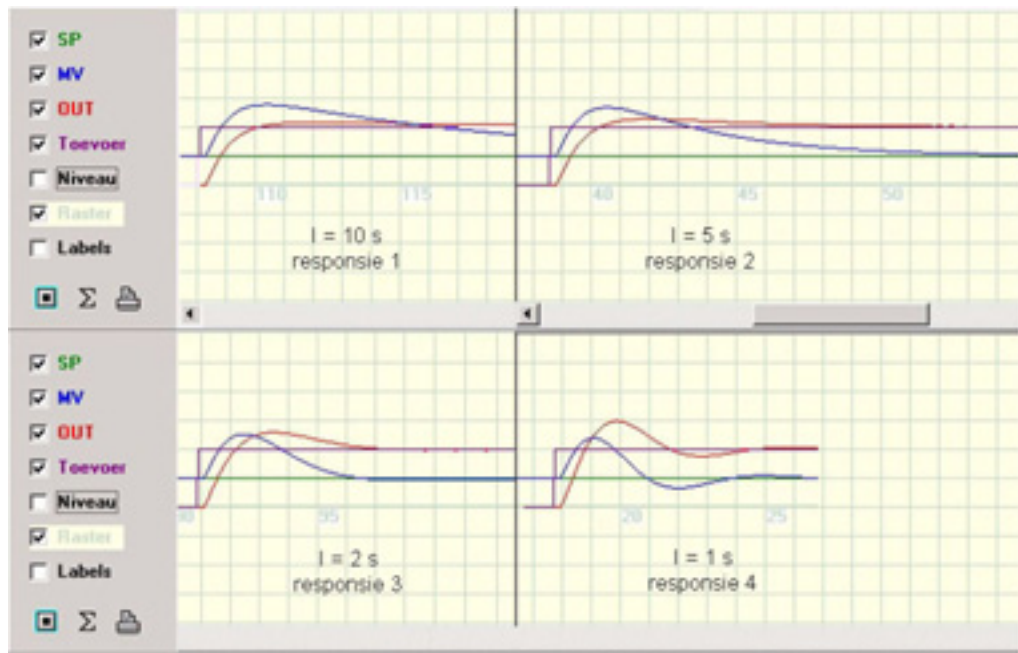
Figuur 148 Integratorwerking

De I-tijd instelling is afhankelijk van de capaciteit (diameter) van de tank. Bij een tank met een kleine diameter verandert het niveau sneller na een procesverstoring dan bij een tank met grotere diameter.

In **figuur 149** ziet u vier responsies van een niveauregeling. Hierin is het effect te zien van verschillende I-tijden.

De startcondities zijn:

- setpoint en niveau = 60%, in evenwicht
- toe- en overcapaciteit = 50%
- verstoring = verhoging van de toevoercapaciteit met 20%
- I-tijd = seconden



Figuur 149 Effect van verschillende I-tijden op niveauregeling

Opgaven

225. Zal bij responsie één in **figuur 149** ook het setpoint van 60% worden bereikt?
226. Hoe lang duurt het bij responsie 2, 3 en 4 voordat het niveau weer stabiel is op het setpoint van 60%? Wat concludeer je hieruit over het effect van de I-tijd op de snelheid waarmee het proces gecorrigeerd wordt?
227. Je wilt de I-actie uitschakelen. Moet de I-tijd dan heel lang of juist heel kort gekozen worden? Verklaar je antwoord met behulp van **figuur 147** en **figuur 149**.

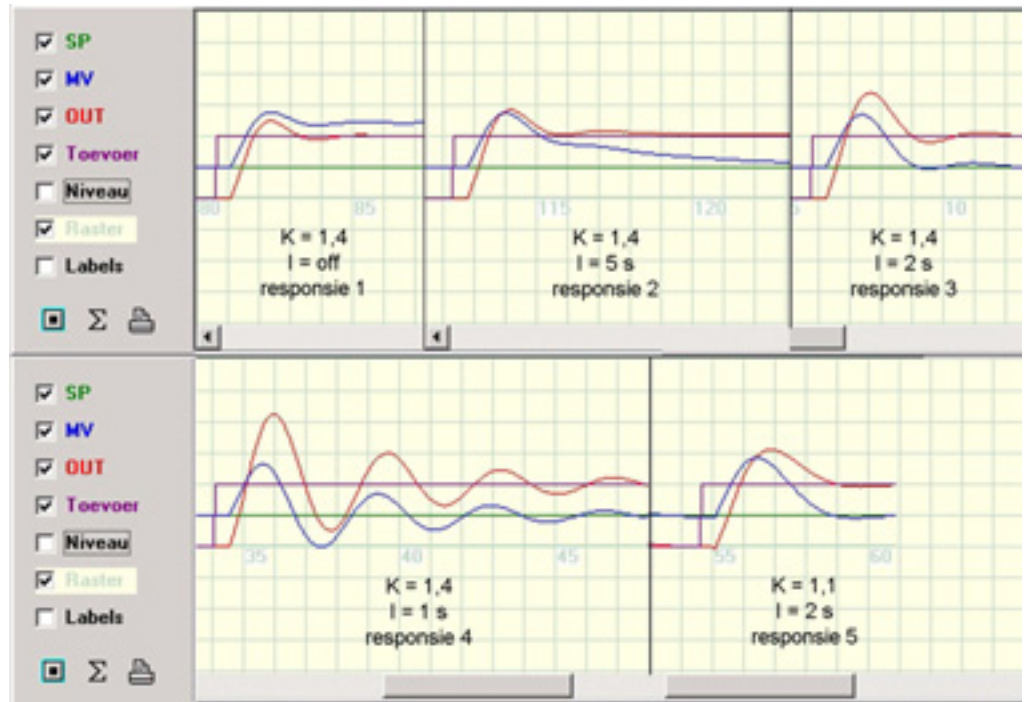
Afstellen van een PI-regeling

Bij het afstellen van de P-regeling wordt de versterkingsfactor steeds verder verhoogd totdat er een constante oscillatie optreedt in het proces als gevolg van een procesverstoring. Door de versterkingsfactor waarbij dit optreedt ongeveer te halveren ontstaat een regeling die procesverstoringen goed kan opvangen bij een zo klein mogelijke offset. Met een I-actie gaan we bij deze regeling nu ook de resterende offset wegregelen.

In **figuur 150** staan vijf responsies voor een P-regeling en een PI-regeling met verschillende I-tijden.

De startcondities zijn steeds hetzelfde:

- toevoercapaciteit = 50%
- setpoint en niveau = 60 %, in evenwicht
- verstoring in toevoercapaciteit van 50% naar 70%

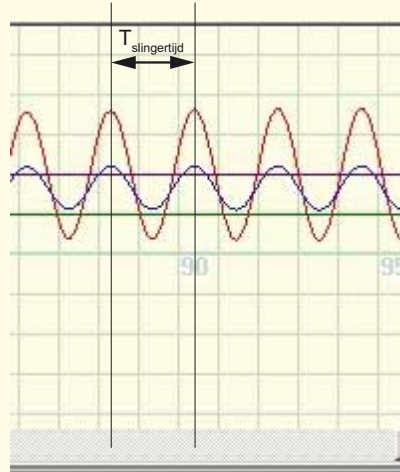


Figuur 150 Invloed van P- en I-actie op PI-regeling

Opgaven

228. Waarom wordt bij responsie één de offset niet weggeregeld?
229. Welk effect is er op het uitgangssignaal als de I-tijd bij de responsies twee, drie en vier steeds korter wordt ingesteld?
230. Welk gevolg heeft een kortere I-tijd voor de niveauregeling van de tank? Let op de snelheid waarmee de offset wordt wegge-regeld en de slingeren van de MV.
231. Welke P- en I-instelling (responsie) uit **figuur 150** geeft naar uw mening de beste regeling? Waar let u op bij uw keuze?

De heren Ziegler en Nichols zeggen dat voor een optimale PI-regeling de P-actie met 10% verlaagd moet worden ten opzicht van een P-regeling. Dit om de invloed van de I-actie te compenseren. Dit betekent dat de versterkingsfactor 10% lager moet worden ingesteld. De instelling van de I-tijd is af te leiden uit de snelheid waarmee het proces slingert (oscilleert) bij het afstellen van de P-regeling. Een proces waarbij de gemeten waarde snel van de hoogste naar de laagste waarde slingert als gevolg van een procesverstoring is een "snel proces". De I-actie moet dan ook, door een korte I-tijd in te stellen, snel ingrijpen om de offset weg te regelen. Slingert bijvoorbeeld het niveau in de tank in 10 seconden van de hoogste waarde naar de laagste waarde en terug, dan is de optimale I-tijd 8 of 9 seconden (80-90% van Tslingertijd).



Simulatieopdrachten

Stel bij uw simulatiesoftware de volgende startsituatie in: SP = 50%; K = 1,5; toevoer is 50%; I = off. Stel de capaciteit van het vat in op 100%. Zet de regelaar op automatisch en wacht tot het proces in evenwicht is.

232. Vanuit de startsituatie komt een stapverstoring. Zet de toevoer op 70%. Stop de simulatiegrafiek als het proces weer in evenwicht is en schets de ontstane grafiek op papier.

233. Ga terug naar de startsituatie. Stel nu een I-tijd in van 20 seconden en zet daarna de toevoer op 70%. Stop de simulatiegrafiek zodra er een nieuw evenwicht is ontstaan en schets de ontstane grafiek op papier. Vergelijk de grafieken van de twee voorgaande opdrachten nauwkeurig en verklaar de verschillen.

234. Herhaal de vorige opdracht met een I-tijd van 10 seconden, van 5, 3, en 1 seconde. Stel vast bij welke I-tijd dit proces gaat pendelen.

235. Herhaal de vorige opdrachten; maar nu met de capaciteit van het vat op 50%. Vergelijk de grafieken en verklaar de verschillen.

236. Stel opnieuw de startsituatie in: SP=50% K=1 toevoer=50% I=off. Kijk hoe het proces reageert (grafiek) op een verstoring in de toevoer bij een steeds grotere versterkingsfactor. Zoek de versterkingsfactor op waarbij het proces een constante oscillatie geeft. Pas nu de instelregels van Ziegler en Nichols toe voor een juiste afstelling van een PI-regeling. Werkt de regeling goed met de gevonden P en I-waarden?

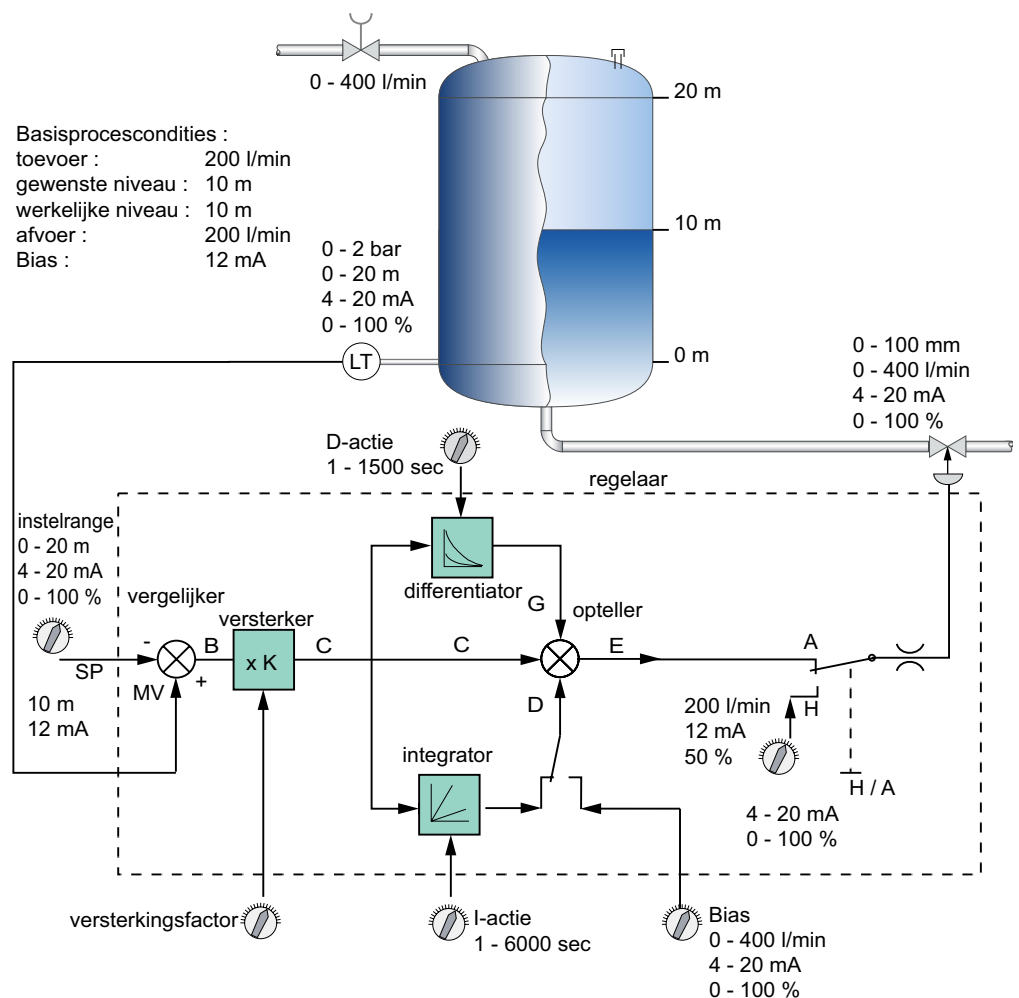
Regelaar met differentiator of D-actie

De integrator werkt de offset weg en reageert op de grootte van het verschil tussen SP en MV. De differentiator reageert op de snelheid waarmee de offset verandert. Hoe sneller de offset verandert, hoe sterker de differentiator werkt. Zowel de I-actie als de D-actie reageren op het signaal in punt C van **figuur 151**. Bij een versterkingsfactor van één is dit signaal gelijk aan de offset.

Het proces met niveauregeling dat steeds als voorbeeld dient is voor de functie van de differentiator minder geschikt. De differentiator is bij trage processen, bijvoorbeeld temperatuur-

regelingen, een goed instrument. Ook bij de processen met dode tijd (traagheid) en bij een traag werkende transmitter of regelklep is een D-actie zinvol. We laten eerst de differentiator zien in ons vertrouwde proces als logisch vervolg op de I-tijd.

In de regelaar in **figuur 151** is de differentiatorfunctie toegevoegd. De integrator staat uit (off), de versterkingsfactor is één.



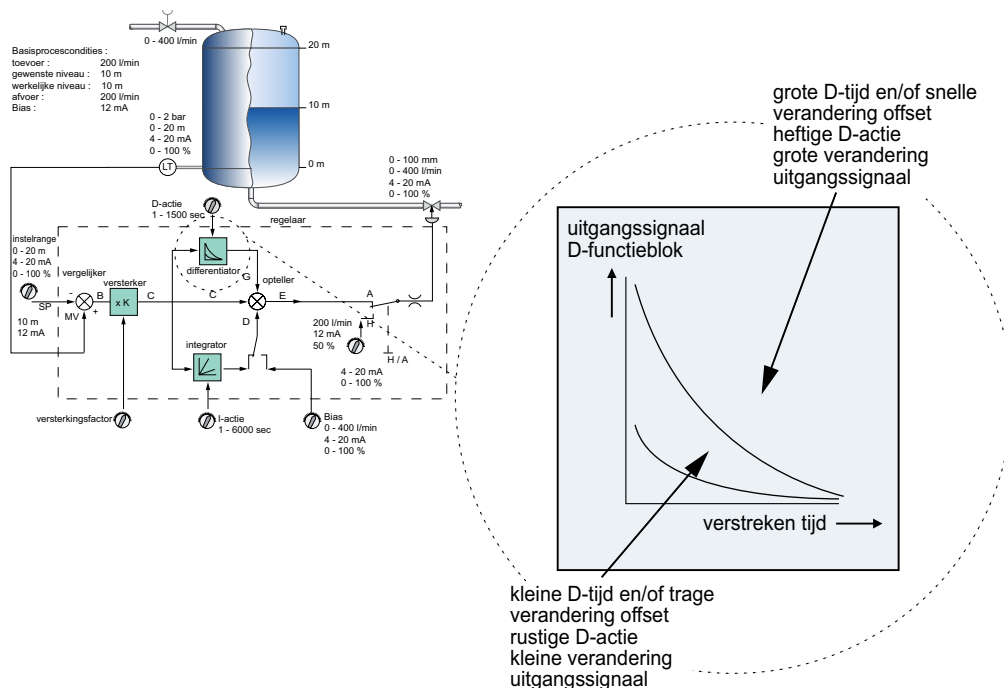
Figuur 151 Regelaar met P-, I- en D-functie

Op punt B van de regelaar staat een offset van 30%. De differentiator doet in principe niets met deze offset als deze constant blijft. Bij een stapverstoring van 50 naar 80% in de toevoer, zal de snelheid waarmee de offset toeneemt het grootst zijn vlak na de stapverstoring. Naarmate het proces weer in evenwicht komt op 80%, zal de snelheid waarmee de offset verandert weer afnemen. De differentiator geeft een groter extra signaal op punt G

naarmate de verandering van het signaal op punt B en C sneller is. Met andere woorden hoe sneller de offset verandert, hoe groter het extra signaal dat bij de bias (50%) wordt opgeteld. Op deze manier wordt de regelklep extra snel verder geopend.

Een D-actie dient bij een traag veranderend proces tijdig op een procesverstoring in te grijpen vóórdát een grote offset ontstaat. Bij een traag proces zal de offset namelijk langzaam toenemen terwijl er toch al een grote procesverstoring in de toevoercapaciteit kan zijn. Je kunt de D-actie ook zien als een versterking van de proportionele actie. De mate van versterking is bij de D-actie afhan-

kelijk van de **snelheid** waarmee de offset verandert. De P-actie is afhankelijk van de **grootte** van de offset. Het effect van de D-actie op het uitgangssignaal wordt na verloop van tijd kleiner. In **figuur 152** ziet u dit nog eens.



Figuur 152 Instelling van D-actie

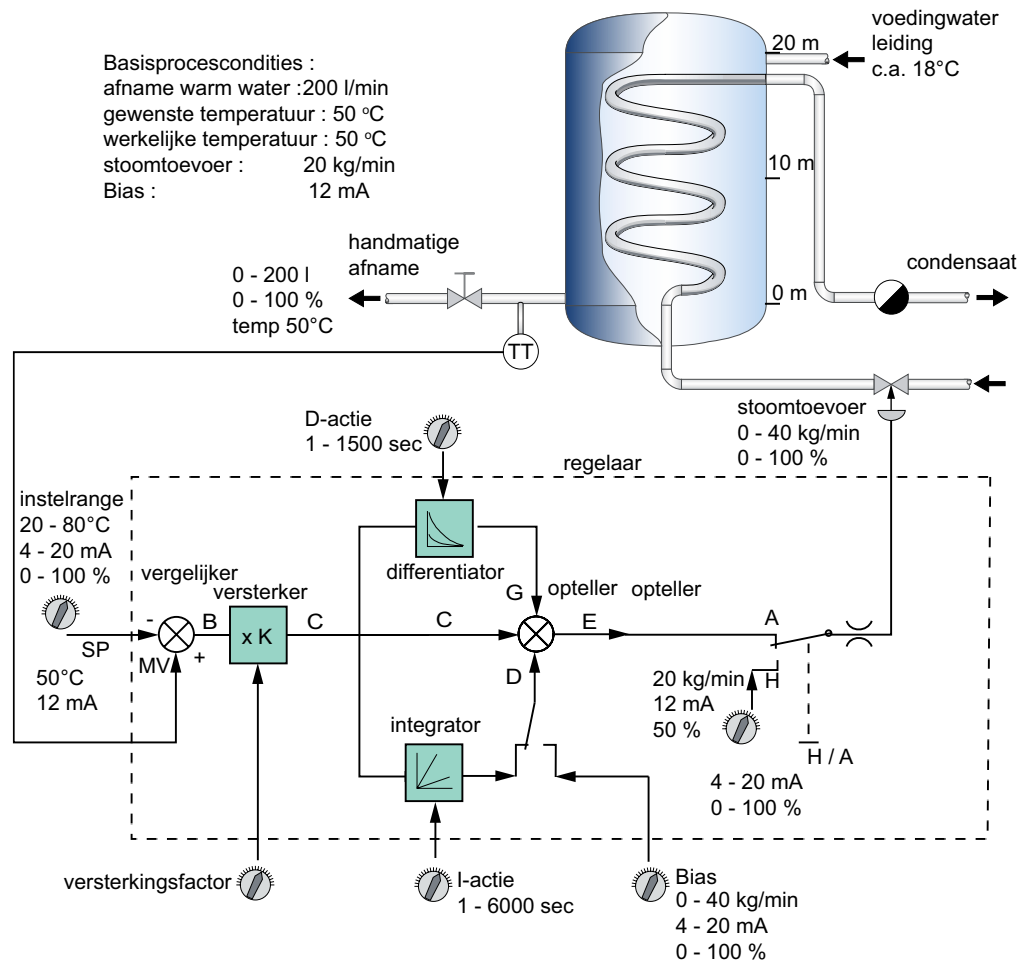
Opgaven

237. Bij een snel proces geeft een verstoring ook een snelle verandering van de offset. Waarom heeft daarom bij een snel proces een D-actie in het algemeen geen zin?
238. Een gevoelige transmitter veroorzaakt ruis op het meetsignaal. Wat is het gevolg van deze ruis als u een D-actie toepast.

D-actie bij temperatuurregeling

Het proces in **figuur 153** houdt water op een constante temperatuur van 50 °C; althans dat is de bedoeling. Bij een waterafnamecapaciteit van 50% is de stoomtoevoercapaciteit ook 50%. Het proces is in evenwicht bij een setpoint van 50 °C; er is geen offset. Bij dit proces gaan we ervanuit dat de hoeveelheid stoom evenredig (lineair) is aan de waterafname. Als bijvoorbeeld de waterafnameca-

paciteit stijgt naar 70% dan is de benodigde hoeveelheid stoom, om de temperatuur op 50 °C te houden, ook 70%. Dit lineaire verband is een theoretisch model dat in de praktijk nooit zo zal werken. Het geeft wel een goed beeld van deze temperatuurregeling.

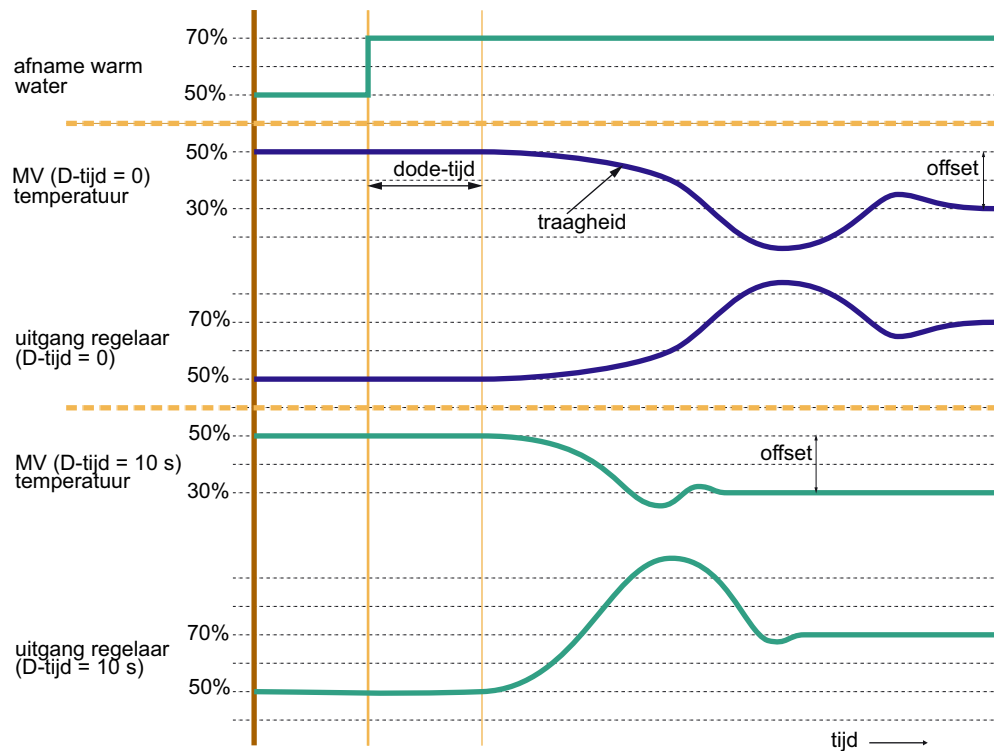


Figuur 153 Temperatuurregeling met PID-regelaar

Opgaven

- 239.** De waterafname wordt verhoogd van 50% naar 70% en verstoort het proces dat in evenwicht was. De I- en D-actie zijn uitgeschakeld. Is de invloed van de procesverstoring te meten met de temperatuurtransmitter?
- 240.** In **figuur 154** wordt het begrip 'dode-tijd' weergegeven. Verklaar dit begrip met behulp van **figuur 153**.
- 241.** Wat gebeurt er met de gemeten waarde enige tijd nadat de procesverstoring heeft plaatsgevonden?

In **figuur 154** zie je hoe de MV en de uitgang van de regelaar reageren wanneer de D-actie en I-actie zijn uitgeschakeld én wanneer de D-tijd op 10 seconden is ingesteld.



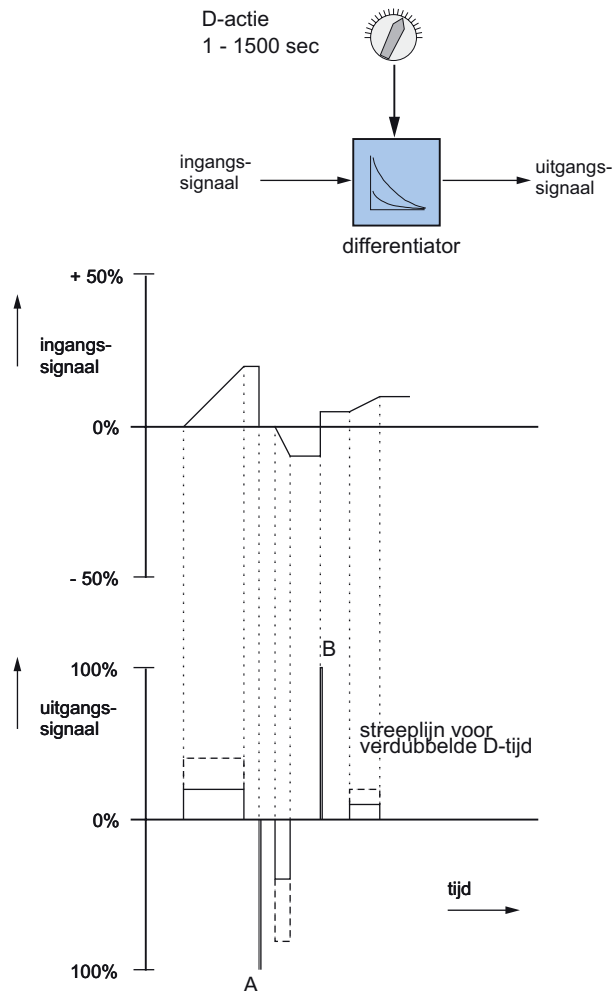
Figuur 154 Reactie op procesverstoring zonder en met D-actie

De uitgang van de proportionele regeling zal vrijwel gelijk veranderen aan de MV. Is er geen D-actie ingesteld, dan duurt het relatief lang bij dit trage proces voordat er weer een evenwicht ontstaat met daarbij een constante offset. Dit is te zien in de bovenste drie grafieken. De D-actie zorgt dat een kleine verandering van de MV een relatief groot extra signaal bij de opteller geeft (**figuur 153**) en daarmee op de uitgang van de regelaar. Hoe langer de D-tijd is ingesteld, hoe groter dit signaal bij het optelpunt. In **figuur 154** is te zien dat een D-tijd van 10 seconden ervoor zorgt dat het nieuwe evenwicht sneller bereikt wordt met uiteindelijk dezelfde offset. Een te lange instelling van de D-tijd brengt het proces in oscillatie. Het extra D-sig-naal bij de opteller wordt te groot in verhouding tot de verstoring. De stoomtoevoercapaciteit komt bijvoorbeeld op 90% te staan bij een waterafname van 70%. Als na verloop van tijd de temperatuur-transmitter een watertemperatuur van 50 °C meet, is de stoomtoevoer veel te groot geworden en loopt de watertemperatuur ver

boven de 50 °C door. Gevolg hiervan is weer dat dezelfde D-actie de stoomregelklep weer helemaal dicht stuurt en zo komt het proces in oscillatie.

In **figuur 155** ziet u op een andere wijze wat een D-blok doet met eeningangssignaal. Het uitgangssignaal van het D-blok wordt opgeteld bij het totale uitgangssignaal van de regelaar en werkt dus direct door op de regelklep

Uit deze grafieken is af te leiden dat het D-blok alleen een uitgangssignaal geeft als het ingangssignaal verandert. U ziet hier ook dat als het ingangssignaal tweemaal zo snel verandert dat dan de uitgang ook tweemaal zo groot is. Een verdubbeling van de D-tijd geeft het zelfde effect.



Figuur 155 Werking van differentiator

Opgave

242. Waarom ontstaat er een kortstondige piek bij punt A en B in **figuur 155**?
243. Wat heeft de piek voor een effect op de uitgang van de regelaar en daarmee op de klepstand?
244. Waarom zal een D-actie al snel tot instabiel regelgedrag leiden als het transmitter signaal wordt verstoord door "ruis" (schommelingen, pulsen etc.)

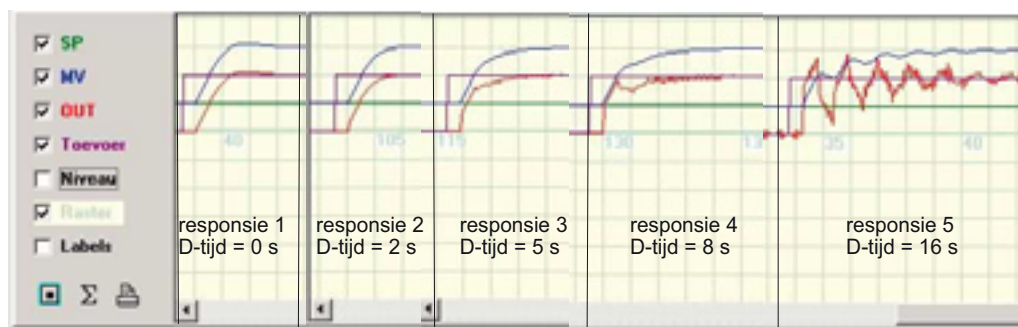
Afstellen van een PID regeling

Een D-actie wordt pas toegepast als met een PI-regeling niet snel en zonder veel slingeren het setpoint wordt bereikt. Dit gebeurt vooral bij trage processen met een dode tijd. In **figuur 156** ziet u vijf responsies van een PD-regeling

De responsies zijn bepaald met een algemeen procesmodel en niet voor een niveauregeling. Het doel ervan is; effect van D-actie te laten zien.

De startcondities zijn steeds gelijk:

- setpoint en gemeten waarde = 60%, in evenwicht
- verstoring = toevoer 50% naar 70%
- versterkingsfactor = 1(constant)



Figuur 156 Effect van D-actie bij PD-regeling

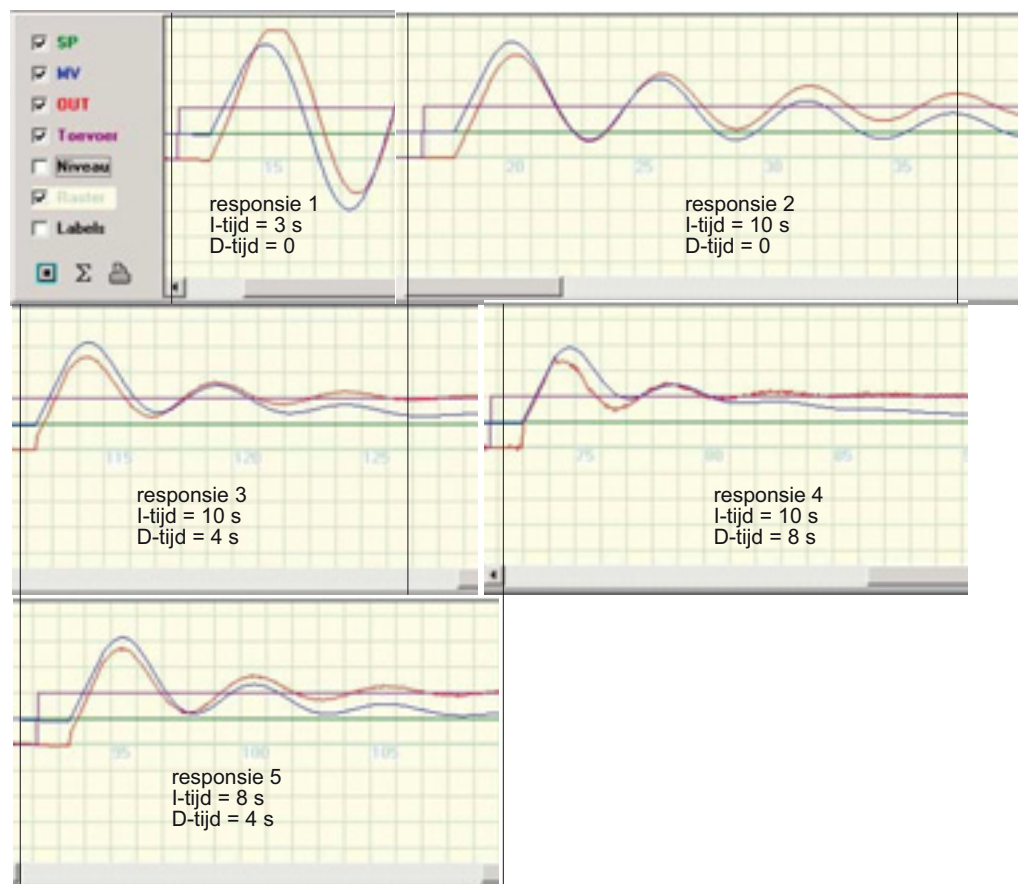
Opgaven

- 245.** Bij een langere D-tijd wordt het uitgangssignaal steeds "grilliger" (pieken). Wat kan hiervan de oorzaak zijn?
- 246.** Wat gebeurt er met de eerste sprong van de uitgang van de regelaar bij responsie twee, drie en vier als de D-tijd steeds langer ingesteld wordt?

In **figuur 157** ziet u vijf responsies waar de I- en D-actie zijn ingeregeld voor een traag proces met dode tijd.

De startcondities zijn steeds gelijk:

- setpoint en gemeten waarde = 60%, in evenwicht verstoring = toevoer van 50% naar 70%
- dode tijd proces = 5 sec
- versterkingsfactor = 1 (constant)



Figuur 157 Effect van I- en D-actie op PID-regeling

Bij responsie één is het proces in oscillatie en slingert de output tussen 30% en 100% (opendicht regeling). De uitgang wordt duidelijk te snel en sterk bijgesteld door de I-actie. Het

proces reageert hierop met een langzame verandering van MV. Voor responsie twee is de I-actie verkleind. De regeling dempt met veel slingeren langzaam uit. Door in

responsies drie en vier een D-actie toe te passen wordt de uitgang eerst sterker uitgestuurd. De I-actie hoeft alleen nog het laatste stuk weg te regelen. Om het weggeregelen van de offset nog iets te versnellen is bij responsie 5 de I-tijd iets korter ingesteld en de D-actie weer iets verminderd.

De responsies van het proces in **figuur 157** zijn slechts één voorbeeld voor het afstellen van een I- en D-actie om een aantal effecten te laten zien. Voor een optimale afstelling moeten I- en D-tijd nog beter op elkaar worden afgesteld en moet misschien ook de K-waarde nog worden aangepast. Een exacte afstelling van een willekeurig proces met een PID-regeling is een hele klus en hangt sterk af van het gedrag van het proces. De heren Ziegler en Nichols hebben voor processen die zich gedragen als een "1e orde proces" een aantal regels opgesteld voor het afstellen van een P-, I-, en D-actie.

Als een D-actie wordt toegepast mogen de P- en I-actie weer iets versterkt worden ten opzichte van een PI-regeling. De versterkingsfactor mag dan ca 30% hoger worden en de I-tijd ca 40% korter. De I-tijd moet wel ongeveer een factor 4 groter blijven dan de D-tijd.

Simulatie-opdrachten

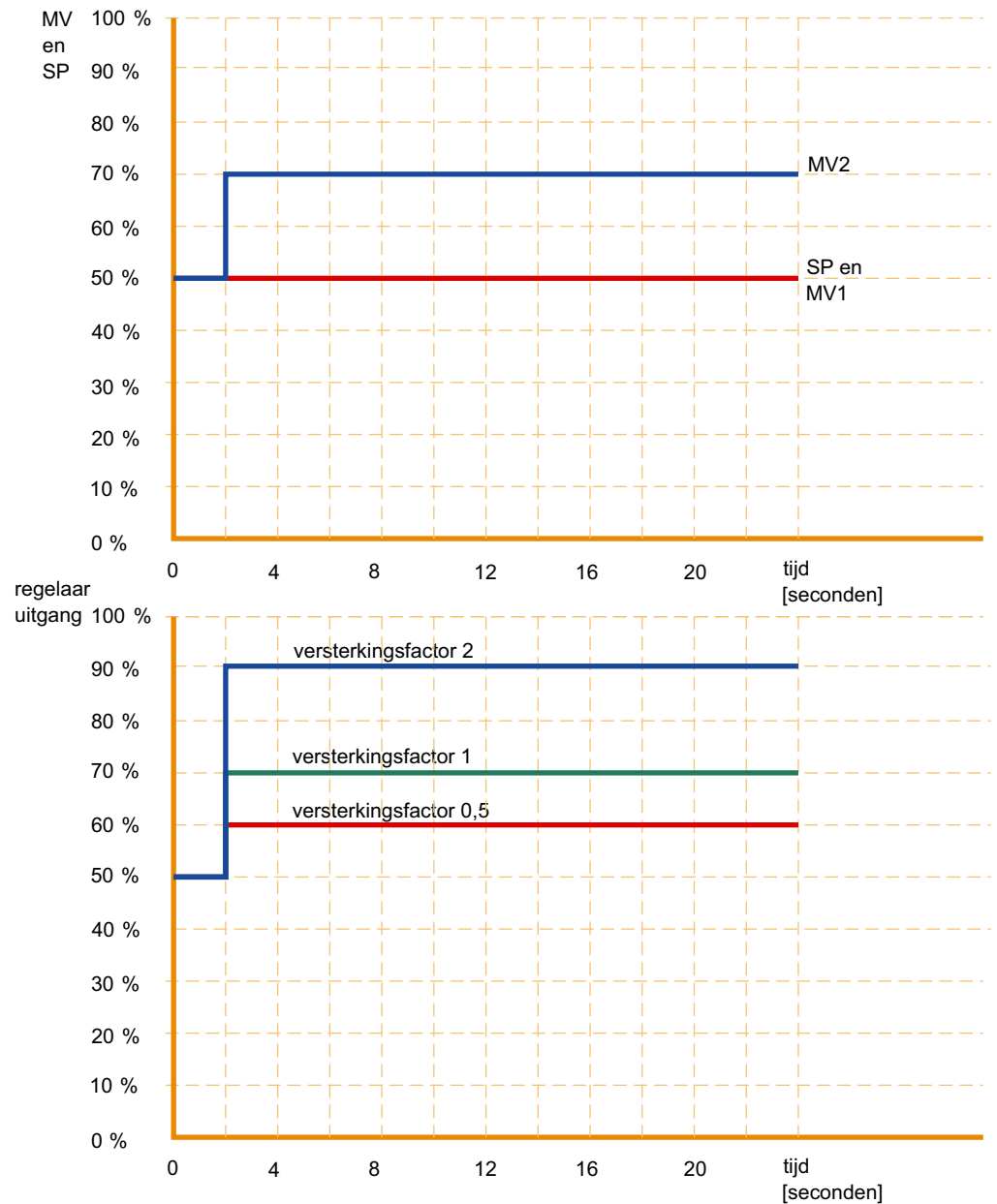
Stel het setpoint in op 50%, $K=1$, toevoer op 50%, I-actie = uit, D-actie= uit; vatdiameter op 100%. Zet de regelaar in de stand automatisch en wacht tot het proces in evenwicht is

- 247.** Geef een verstoring in de toevoercapaciteit van 50% naar 70% en schets de responsie op papier.
- 248.** Herhaal de vorige opdracht maar kies nu een D-tijd van 10 seconden.
- 249.** Herhaal de vorige opdracht met een D-tijd van 20 seconden.
- 250.** Vergelijk de door u getekende responsies en geef aan welk effect een langere D-tijd heeft op de uitgang van de regelaar en het gemeten niveau.
- 251.** Wordt de offset met een D-regeling weggewerkt?

Achtergrond bij P-, I- en D-actie

Bij een proportionele regelaar verandert het uitgangssignaal evenredig met het verschil tussen de gemeten waarde (MV) en ingestelde waarde (SP). De versterkingsfactor bepaalt of dit verschil nog wordt versterkt of juist verzwakt. Als de regelaar niet is aangesloten op een proces, maar in een testbank

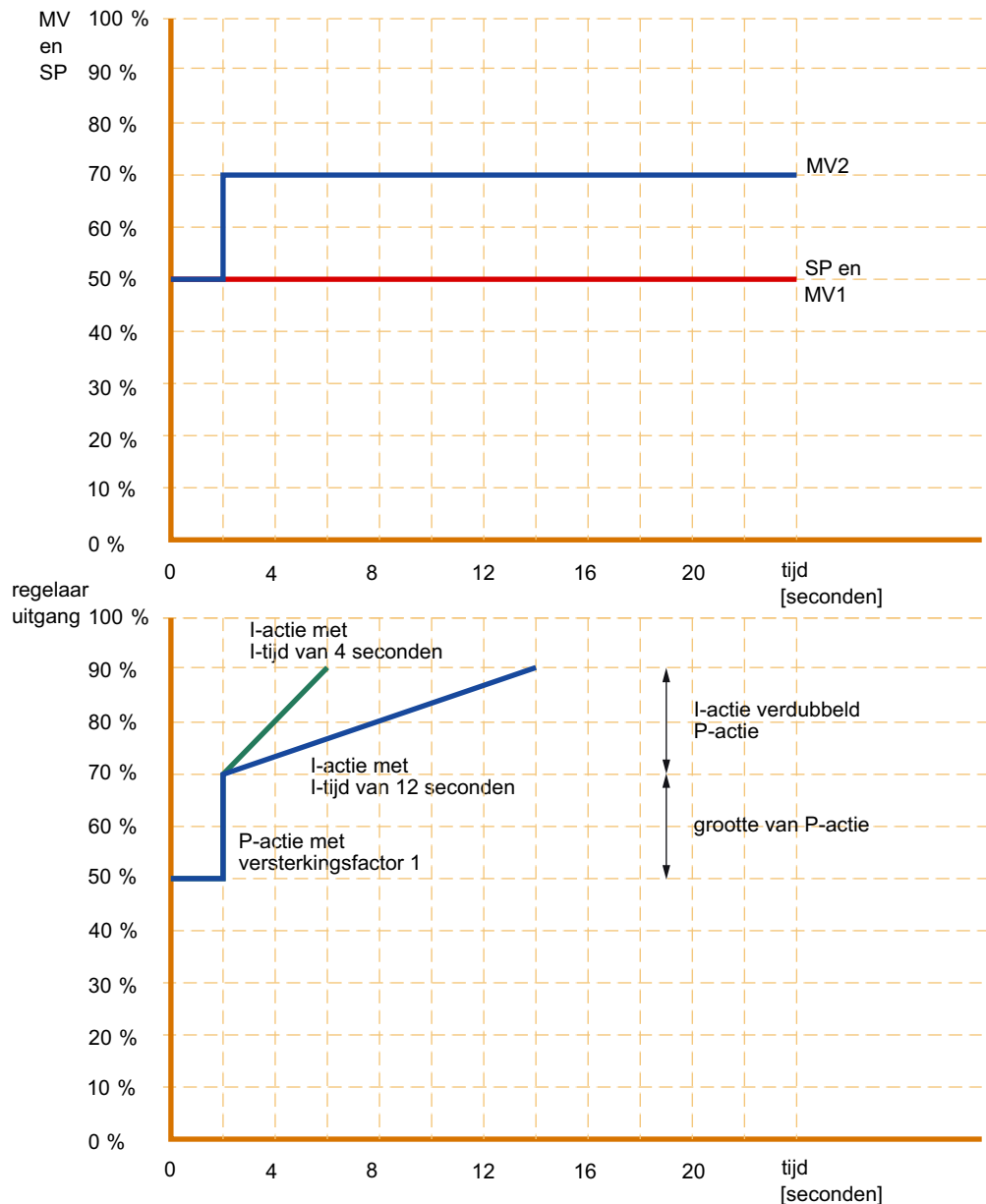
opstelling staat (geen terugkoppeling van nieuwe MV waarde), zal bij een stapvormige verandering van het verschil tussen MV en SP ook de uitgang stapvormig veranderen. In **figuur 158** ziet u dat.



Figuur 158 Effect van een procesverstoring op uitgang van een P-regelaar in testbankopstelling

Bij een PI-regelaar zal naast het effect van de P-actie ook de I-actie een effect op de uitgang van de regelaar hebben na een procesverstoring. De grootte van het effect van de I-actie is op de regelaar in te stellen met de I-tijd (seconden of minuten), ook wel integratietijd of reset-time genoemd. Als de I-tijd op 4 seconden is ingesteld zal de uitgang van de regelaar in 4 seconden nogmaals evenveel veranderen als op basis van de P-actie

gebeurt. De I-tijd wordt daarom ook verdubbelingstijd genoemd omdat het effect van een P-actie wordt verdubbeld in de ingestelde I-tijd. In **figuur 159** ziet u het effect van de gecombineerde P- en I-actie op de uitgang van een regelaar voor twee verschillende I-tijden. Ook hier is de regelaar losgekoppeld van het proces en staat deze in de testbankopstelling.

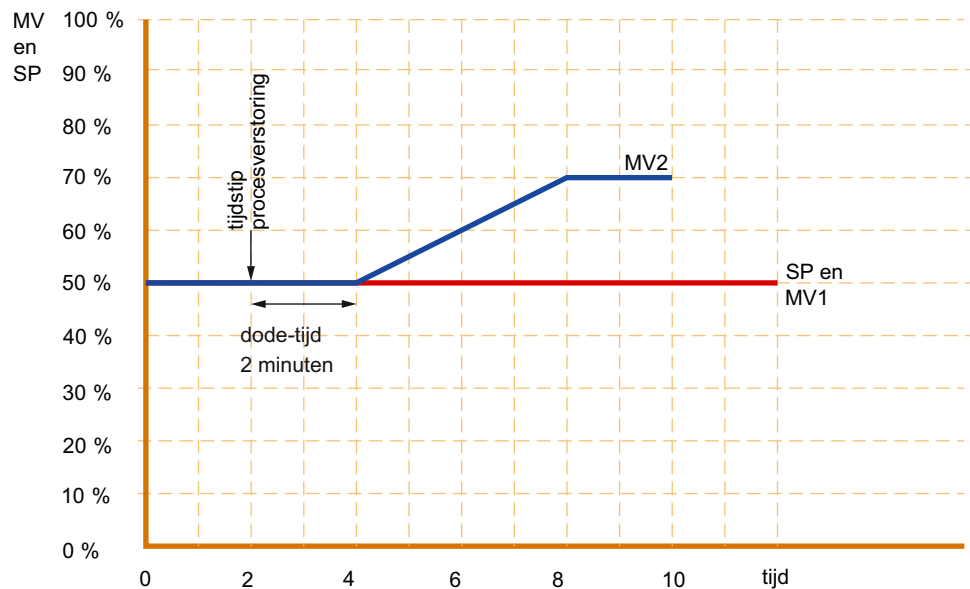


Figuur 159 Effect van een procesverstoring op de uitgang van een PI-regelaar in testbankopstelling

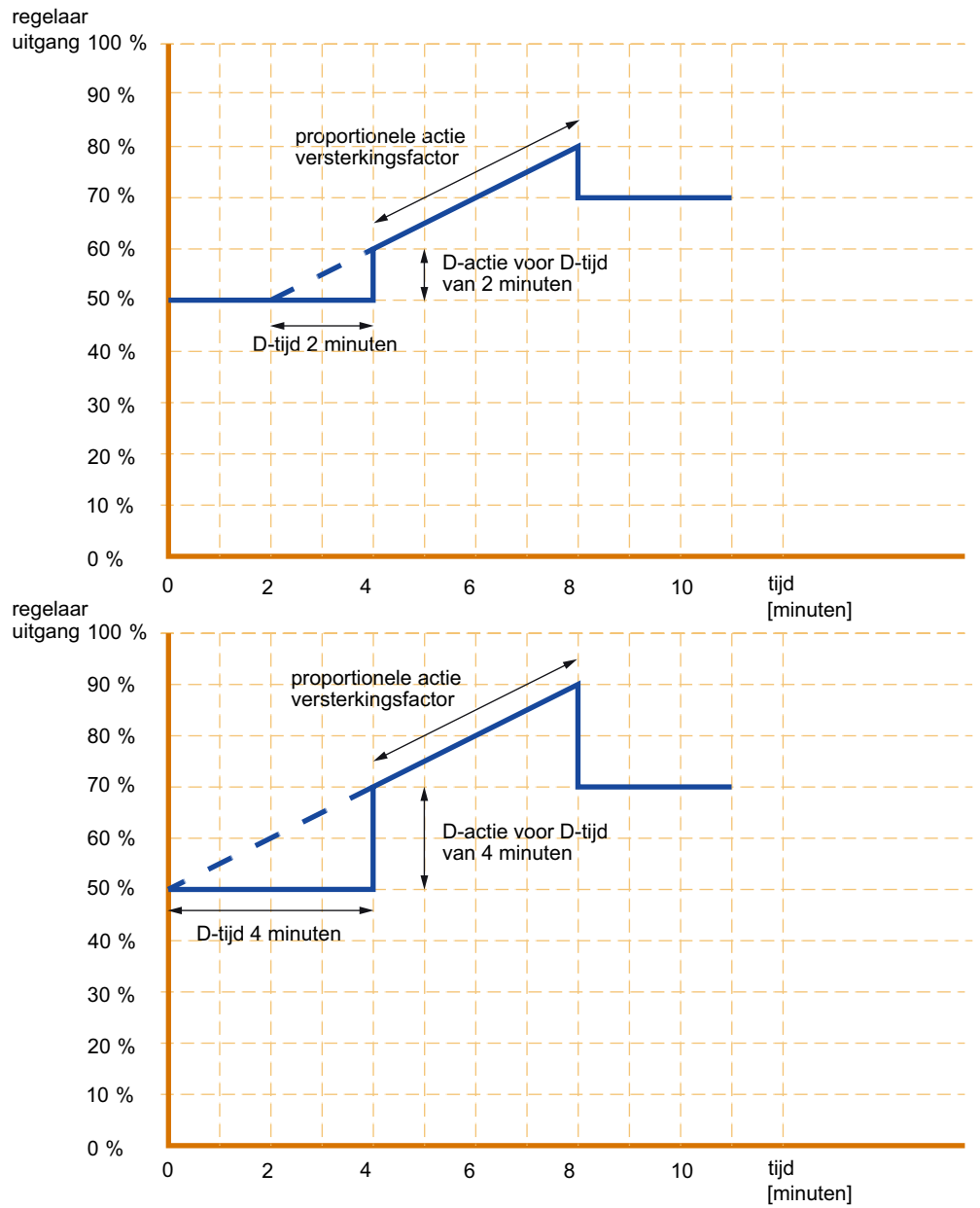
Een PD-regelaar versterkt op basis van de snelheid waarmee de offset verandert de uitgang van de regelaar. Deze regelaar wordt toegepast bij processen met een dode tijd en processen die traag veranderen na een verstoring.

In **figuur 160** ziet u een voorbeeld waarbij een verstoring optreedt die pas na twee minuten zichtbaar wordt in de gemeten waarde. De tijd waarin nog geen verandering zichtbaar is, wordt dode tijd genoemd. De helling waarmee de gemeten waarde verandert, is een maat voor de traagheid van een proces. Een heel kleine helling of langzame verandering, betekent een grote traagheid van het proces.

In **figuur 161** ziet u dat de D-actie een stapvormige verandering van de uitgang geeft op het moment dat de gemeten waarde met een bepaalde snelheid verandert. De grootte van deze stapvormige verandering is afhankelijk van de ingestelde D-tijd. Na deze stapvormige verandering wordt de uitgang, als gevolg van de P-actie, volgens de schuine lijn steeds verder aangepast. De ingestelde D-tijd geeft eigenlijk aan hoe ver in de tijd terug de P-actie al had moeten reageren op een verstoring. De verandering van de uitgang door deze D-actie is even groot als het effect dat de P-actie had moeten geven. Tenminste wanneer die P-actie een D-tijd eerder was begonnen.



Figuur 160 P- en D-actie bij een regelaar in testbankopstelling



Figuur 161 P- en D-actie bij een regelaar in testbankopstelling

Een verdubbeling van de D-tijd geeft dus ook een tweemaal zo grote D-actie bij eenzelfde procesverstoring. Dit is te zien in de tweede grafiek van **figuur 161**. De D-actie geeft dus eigenlijk een inhaalslag op de uitgang van de regelaar. Als de snelheid waarmee de offset verandert stabiel en constant is, valt de D-actie weg. Het uitgangssignaal is dan gelijk aan de P-actie. De offset wordt bij een PD regeling niet weggewerkt; daarvoor is de I-actie nodig.

Toepassingen

Waar en wanneer de verschillende regelaars in de praktijk worden gebruikt, is niet direct te zeggen. De procesomstandigheden bepalen welke regelaar wordt toegepast. De tabel **figuur 162** geeft wel een overzicht, maar deze tabel is niet meer dan een oriëntatie. In de praktijk komt u ook andere combinaties tegen met andere instelwaarden die nog doelmatiger zijn.

Procesregeling		Type regelaar	Proportionele band (PB)	Integratietijd (Ti) en/of differentiatietijd (Td)
F	Hoeveelheid	P+I	50 -150%	Ti = 10 - 30 seconden
L	Niveau	P (als offset geen probleem is) P+I	100% 200%	Ti = 1 - 10 min
P	Druk	P+I	10 - 100%	Ti = 10 - 60 seconden
Q	Analyse bv. pH-regelingen	P+I+D	200 - 500%	Ti = 10 - 20 min. Td = 2,5 - 5 min (*)
T	Temperatuur	P+I+D	50 - 200%	Ti = 1 - 10 min Td = 15 s - 2,5 min (*)
* Om interactie (beïnvloeding van D-actie op de I-actie) te voorkomen, neem Ti minstens 4 x Td.				

Figuur 162 Overzicht toepassingen

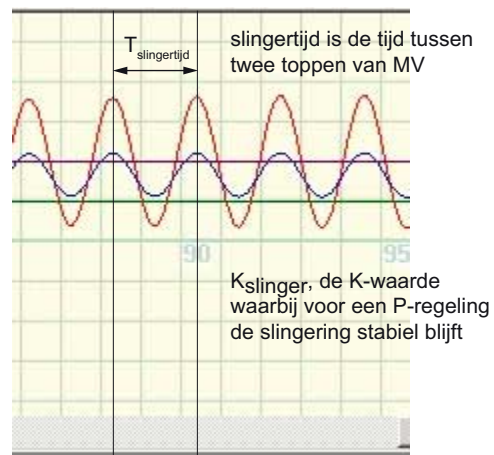
Instelregels Ziegler en Nichols

In de tabel **figuur 163** ziet u de instelregels Ziegler en Nichols in formulevorm. Ze geven een benadering van de PI- en D-waarden en zijn niet geldig voor alle type processen.

Type regeling	versterkingsfactorK	ntegeratietijdTi	DifferentiatietijdTd
P	$K_{\text{slinger}} / 2$	oneindig lang (uit)	0 (uit)
PI	$K_{\text{slinger}} / 2,2$	$0,85 \times T_{\text{slinger}}$	0 (uit)
PID	$K_{\text{slinger}} / 1,7$	$0,5 \times T_{\text{slinger}}$	$1/8 \times T_{\text{slinger}}$

Figuur 163 Instelregels

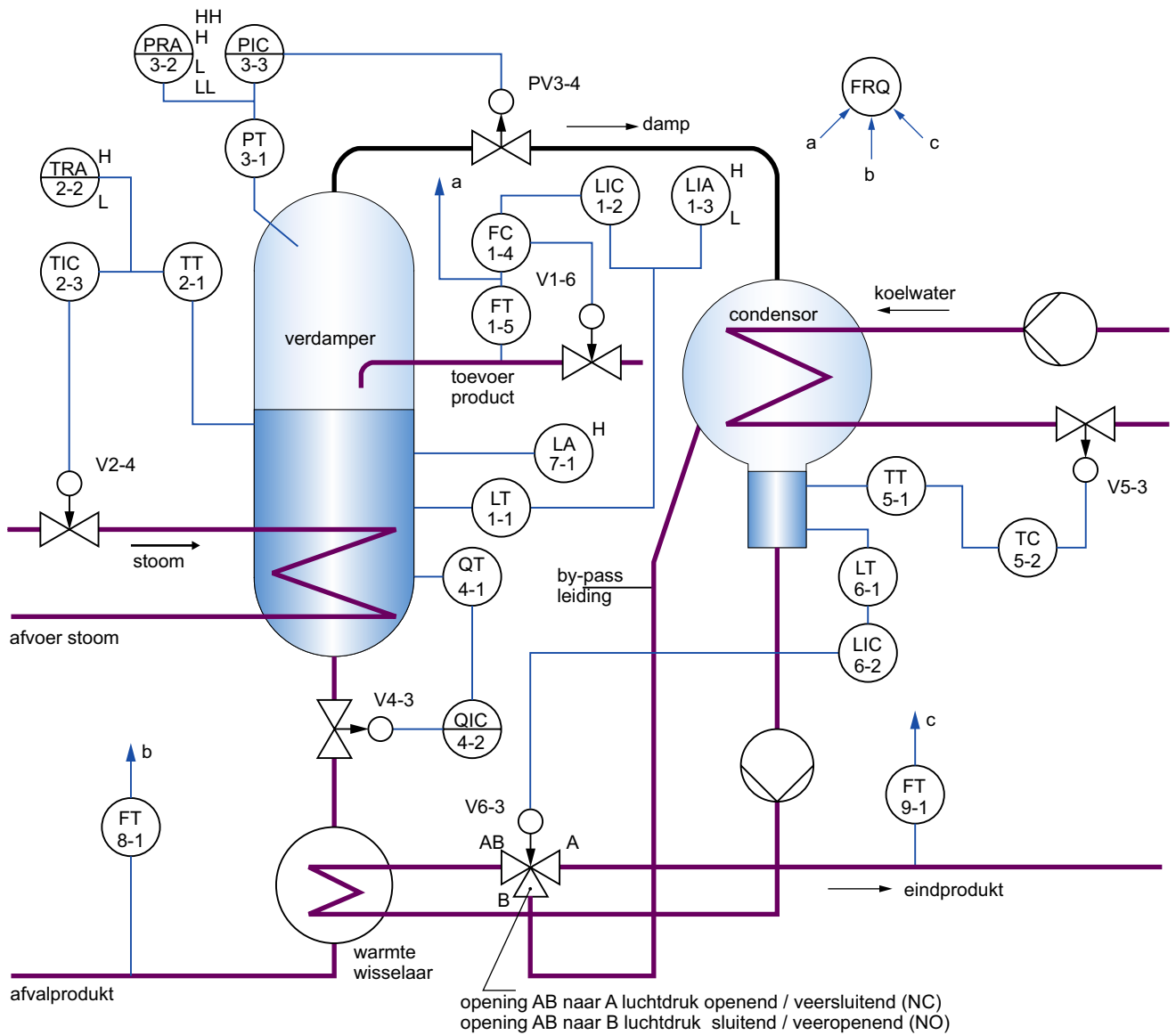
Stabiele slingering (oscillatie) en bijbehorende K_{slinger} en T_{slinger} bepalen bij een P-regeling.



Figuur 164 Stabiele slingering

Hoofdstuk 7 Soorten regelingen

Inleiding Uit het P&I-schema van **figuur 165** blijkt dat de destillatie-installatie verschillende typen regelingen kent, die in dit hoofdstuk worden behandeld.



Figuur 165 P&I-schema van een destillatie-installatie

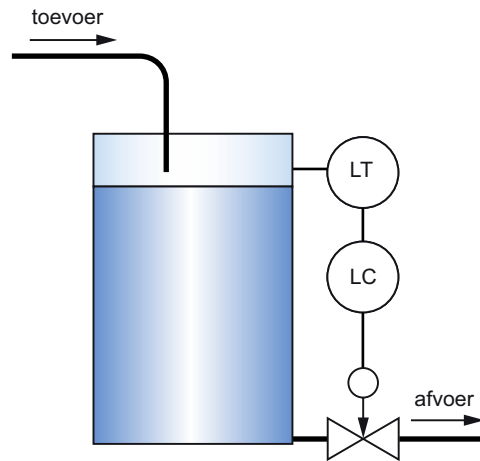
Om een P&I-schema te kunnen lezen, moet men de belangrijkste procesregelingen kennen. In **figuur 166** staan de belangrijkste type procesregelingen onderverdeeld in vier groepen.

Enkelvoudige regelingen	Meervoudige regelingen
Groep 1. * stroomopwaartse regelingen * stroomafwaartse regelingen	Groep 3. * cascaderelingen * verhoudingsregelingen * split-range regelingen
Groep 2. * feedback regelingen * feedforward regelingen	Groep 4. * programma regelingen

Figuur 166 Type procesregelingen

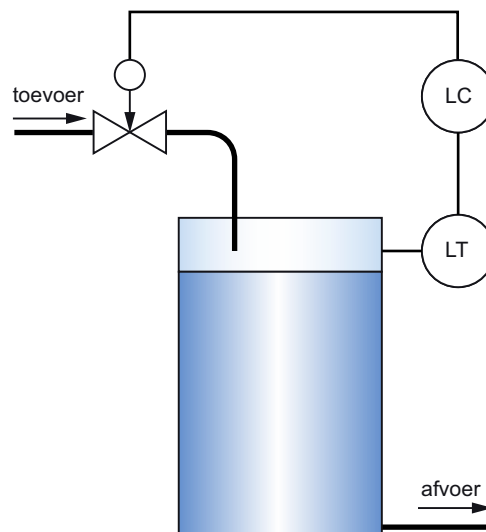
Stroom op- en stroomafwaartse regeling

Figuur 167 geeft een voorbeeld van een stroomopwaartse regeling voor het constant houden van een niveau. **Figuur 168** geeft een voorbeeld van een stroomafwaartse niveauregeling.



Figuur 167 Stroomopwaartse regeling

Als het niveau stijgt gaat de klep verder
Dus de regelaar is werkend.



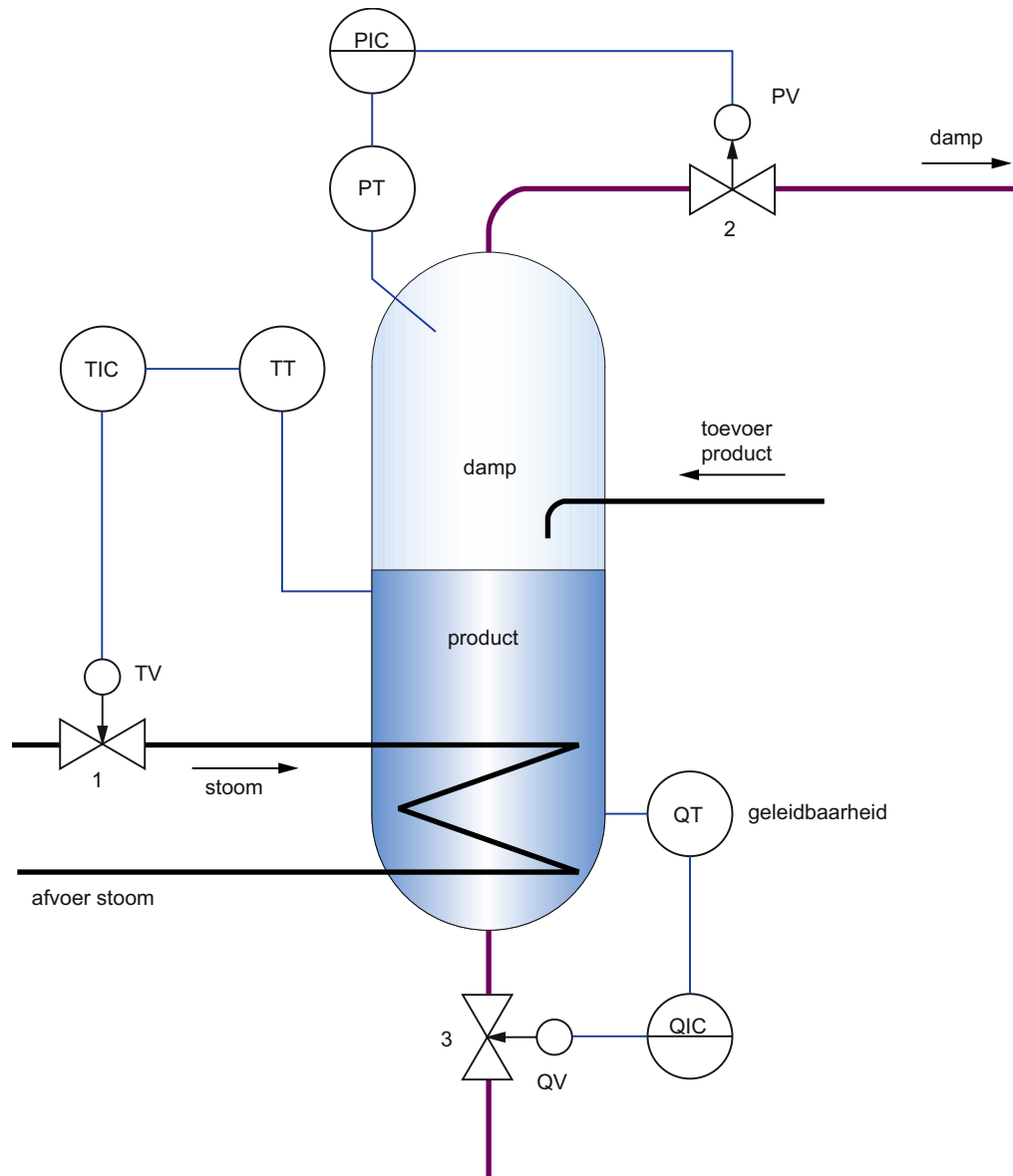
Figuur 168 Stroomafwaartse regeling

Als het niveau stijgt gaat de klep verder
Dus de regelaar is werkend.

Opgaven

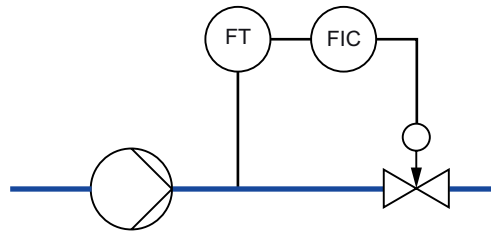
252. Maak de tekst onder **figuur 167** en **figuur 168** af.
253. Wat moet er met klep 1 in **figuur 169** gebeuren, als de temperatuur van het product te hoog wordt?
254. Is de temperatuurregelaar direct of omgekeerd werkend?

255. Wat gebeurt er met de dampdruk als er ineens veel damp wordt afgenomen?
256. Is klep PV onderdeel van een stroomopwaartse of stroomafwaartse regeling?
257. Wat is de geregelde grootheid in de regelkring van regelafsluiter QV?
258. Is de drukregelaar van kring 2 direct of omgekeerd werkend?

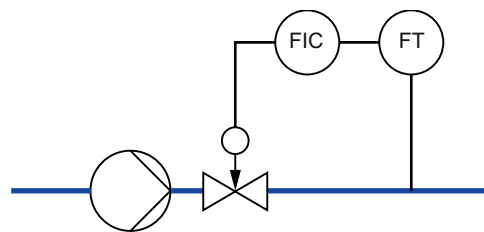


Figuur 169 Verdamper

In **figuur 170** en **figuur 171** staat een flowregeling, bestaande uit een zender, een regelaar en een klep.



Figuur 170 Stroomopwaartse regeling



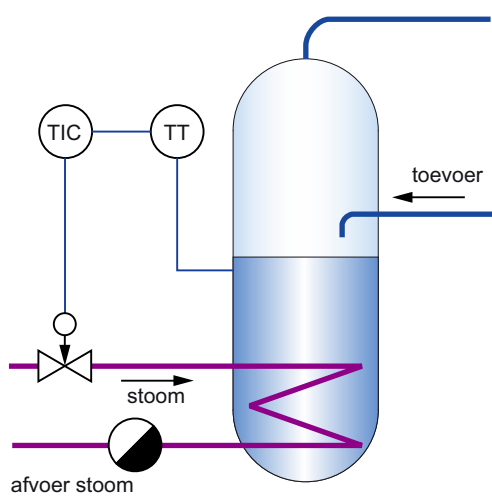
Figuur 171 Stroomafwaartse regeling

Beide regelingen zorgen ervoor dat de flow constant op de ingestelde waarde staat. Het verschil tussen beide regelingen is, dat er in **figuur 170** vóór de klep gemeten wordt en in **figuur 171** ná de klep. Als de opnemer voor het corrigerende orgaan staat, spreken we van een stroomopwaartse regeling. Wordt er daarentegen eerst gecorrigeerd en dan pas gemeten (**figuur 171**), dan spreken we van een stroomafwaartse regeling.

Feed-back en Feed-forward regelingen

Een feed-back regeling is een teruggekoppelde regeling. Dit type gaat na of er goed gecorrigeerd is. Zie **figuur 172**. Verstoringen in het proces worden alle gecorrigeerd. Bij een feed-forward regeling wordt eerst de procesvariabele gemeten (in **figuur 173** de temperatuur van het te verwarmen product). Afhankelijk daarvan wordt vervolgens het corrigerend signaal bijgestuurd. Bij dit type regeling worden alleen variaties in de temperatuur van de toevoer gecorrigeerd.

Het voordeel van een feed-forward regeling is een snelle correctie. De regeling meet eerst wat de afwijkingen in de toevoer zijn en afhankelijk van dat resultaat wordt er onmiddellijk corrigerend opgetreden.



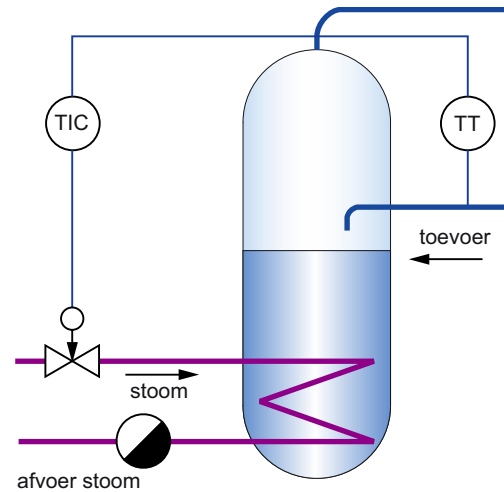
Figuur 172 Feed-back regeling

Opgaven

- 259.** De inhoud van de verdampers uit de figuren **172** en **173** is 600 liter. Welke van de beide opnemers merkt als eerste, dat de vloeistof, die met 10 liter per minuut binnenstroomt, 25 °C in temperatuur varieert?
- 260.** Welke van de in **figuur 172** en **figuur 173** afgebeelde regelingen reageert er dus het snelst?
- 261.** Aan een feed-forward regeling zit ook een belangrijk nadeel. Wat gebeurt er wanneer de aanvoertemperatuur van de stoom varieert?
- 262.** Hoe reageert de feed-back regeling uit **figuur 172** wanneer de aanvoertemperatuur van de stoom varieert?

263. Wat is het voordeel van een feed-back regeling boven een feed-forward regeling?

264. Wat is het voordeel van een feed-forward regeling boven een feed-back regeling?



Figuur 173 Feed-forward regeling

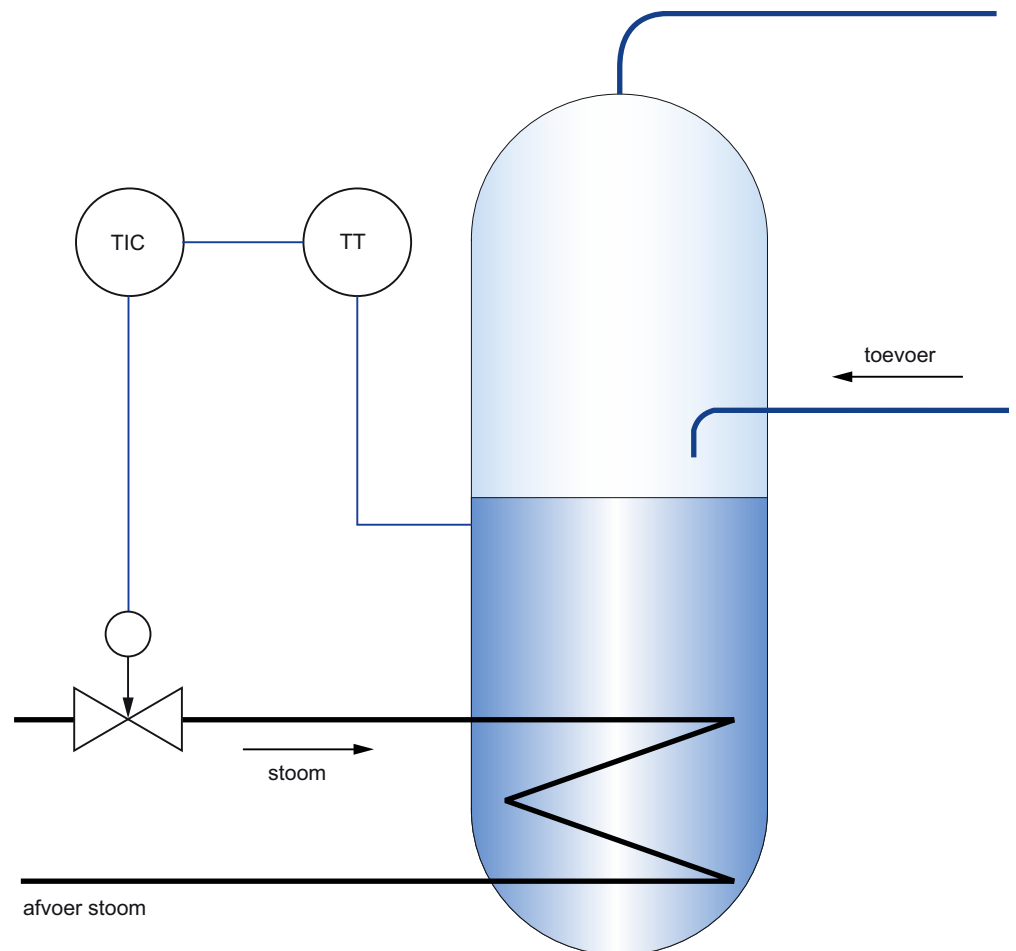
In de praktijk gebruikt men bijna altijd feed-back regelingen. De feed-forward regeling is vaak te onnauwkeurig en komt dan ook het meest voor in combinatie met een feed-back regeling.

Cascaderegeling

Een cascaderегeling gebruikt men om trage processen met snelle variaties in de toevoer-variabelen zo goed mogelijk te regelen.

In **figuur 174** staat een gedeelte van een verdamper. De temperatuur in de verdamper moet worden geregeld. Zo'n enorme massa (bijvoorbeeld 600 liter) verwarm je echter niet

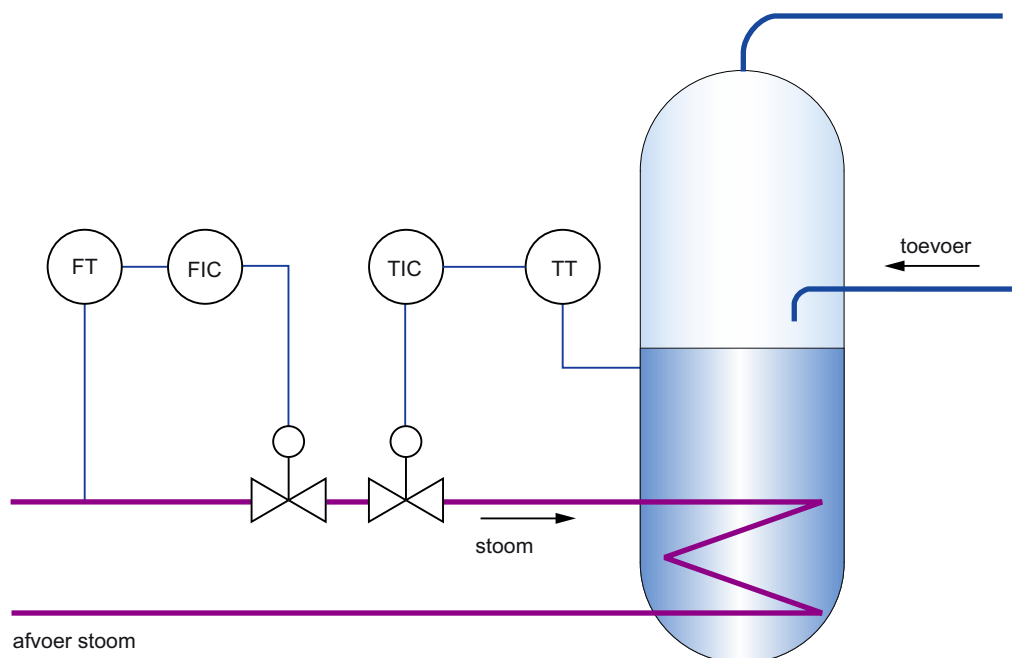
zomaar. Dit kost veel tijd. Het proces is dus traag. Veranderingen in de hoeveelheid stoom leveren maar heel langzaam een verandering in temperatuur van het vloeistofbad.



Figuur 174 Verdamper

Daar komt nog iets bij. In de praktijk blijkt, dat variaties in de toevoer van stoom wel invloed hebben, maar door de traagheid van het hoofdproces niet of nauwelijks te corrigeren zijn. Het duurt namelijk te lang voordat deze variaties door de meet- en regelapparatuur worden herkend.

In **figuur 175** staat een slechte (dure) oplossing voor het corrigeren van de toevoer-variabelen. Dit hebben wij alleen gedaan om de problemen met gecombineerde regelingen te verduidelijken.



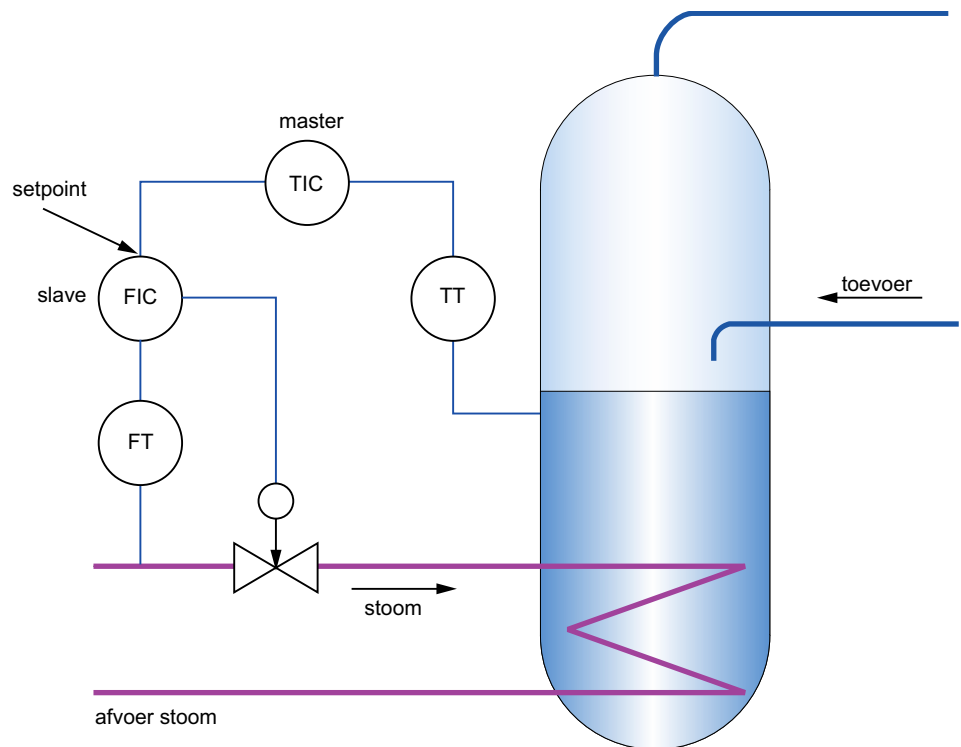
Figuur 175 Onzinnige oplossing voor het corrigeren van toevoer variabelen

Opgaven

265. Wat wordt in **figuur 175** door de flowregeling gecorrigeerd?
266. Als de klep van de flowregeling half geopend is kan dan de temperatuurregeling bij een te lage badtemperatuur nog goed functioneren? Motiveer uw antwoord.
267. Vormen in **figuur 175** de flow- en de temperatuurregeling dus een goed koppel?

De oplossing voor het corrigeren van de toevoervariabelen van **figuur 175** heeft als nadeel, dat regelingen niet met elkaar meewerken (de flowregeling werkt averechts). Een ander nadeel van de regeling uit **figuur 175** is het feit, dat deze oplossing twee dure kleppen vereist. Bij een cascaderегeling

werken daarentegen de afzonderlijke regelingen juist samen en wordt er slechts één klep gebruikt. Deze voert de uiteindelijke correctie uit.



Figuur 176 Cascaderегeling

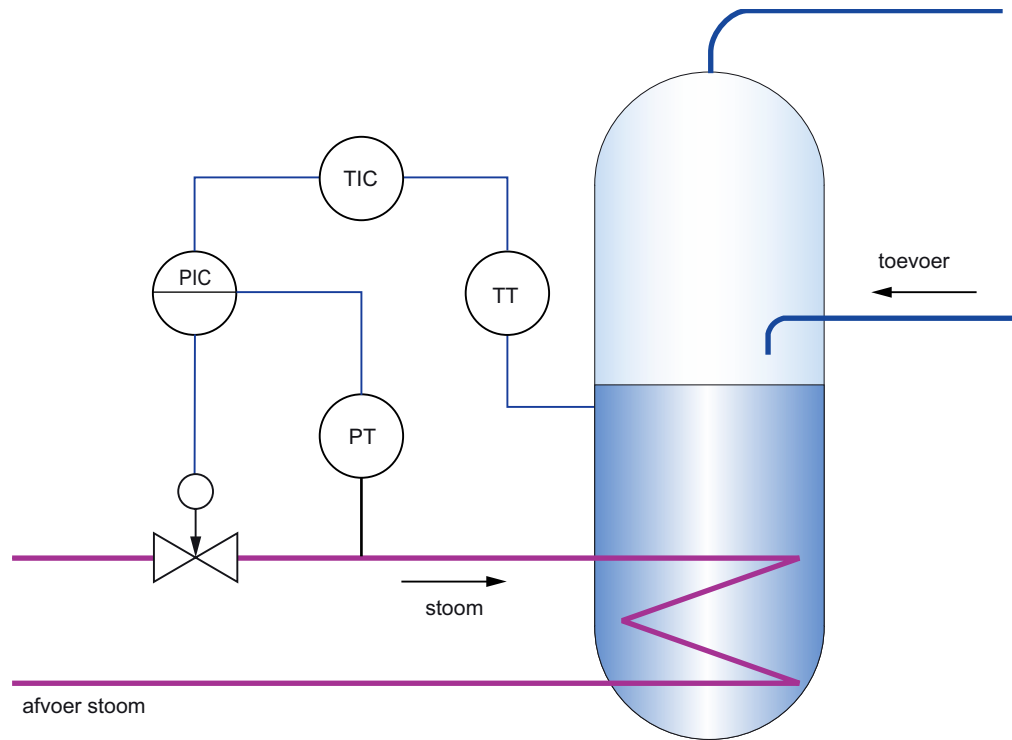
In **figuur 176** wordt de temperatuur van het bad gemeten, omgevormd en naar de temperatuurregelaar gestuurd. De temperatuurregelaar vergelijkt de gemeten temperatuur met zijn ingestelde waarde en geeft het bijbehorende uitgangssignaal af. Het uitgangssignaal van de temperatuurregelaar gaat vervolgens naar het setpoint (ingestelde waarde), ofwel ingang van de flowregelaar. De flowregelaar vergelijkt de door de flowtransmitter gemeten flow met het door de temperatuurregelaar afgegeven signaal en stuurt aan de hand van het verschil de regelklep bij. Varieert in **figuur 176** de toevoer van stoom, dan wordt dit onmiddellijk door de flowregelaar weggewerkt. De flowregelaar krijgt namelijk de variatie in toevoer rechtstreeks via de flowtransmitter door en hoeft dus niet te wachten totdat de flowvariatie later via de badtemperatuur te merken is.

Opgaven

268. Wat moet de flowregelaar doen als de flow plotseling toeneemt (er is ineens meer stoom beschikbaar)?
269. Is de flowregelaar direct of omgekeerd werkend?
270. Wat moet er met de flow gebeuren als de temperatuur van het bad te hoog is?
271. Is de temperatuurregeling direct of omgekeerd werkend?
272. Waarmee kan het setpoint voor de flow worden ingesteld?
273. Waarmee kan het setpoint voor de temperatuur worden ingesteld?
274. Wat betekenen de termen master-(meester) en slave-(slaaf) regelaar bij de regeling van **figuur 176**?

Cascaderegelingen voor processen hebben alleen zin bij een traag hoofdproces met snelle verstoringen in de toevoer van energie of grondstoffen. In de praktijk kent men de regel, dat het proces minstens vijf tot tien keer trager moet zijn dan de toevoer. In **figuur 176** is het proces vele malen trager dan de wisselingen in de hoeveelheid toegevoerde stoom. Een cascaderегeling is dus hier op zijn plaats.

Omdat de flow van de stoom nauw samenhangt met de druk van de stoom, kan men voor de temperatuurregeling van **figuur 176** ook kiezen voor een drukregeling. Dan stabiliseert men niet de flow, maar de druk van de stoom. In **figuur 177** ziet u hiervan een voorbeeld.



Figuur 177 Cascaderegeling

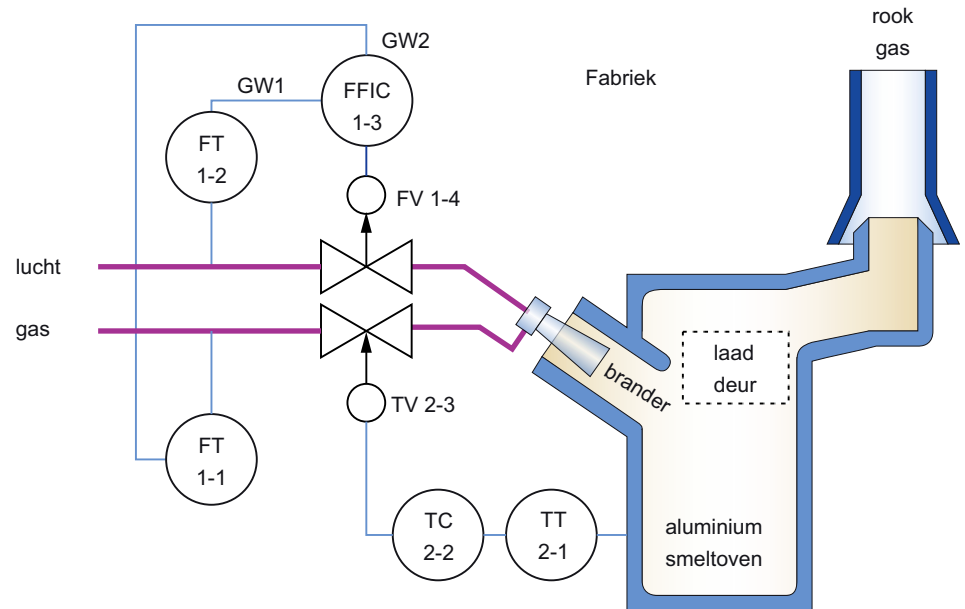
Opgaven

275. Ga de werking van de cascaderегeling in **figuur 177** na.
276. Bepaal welke regelaar de 'master' en welke regelaar de 'slave' is.
277. Ga na wat er gebeurt als de stoomdruk plotseling stijgt.
278. Is de drukregelaar nu direct of omgekeerd werkend?

Verhoudingsregeling of Ratio control

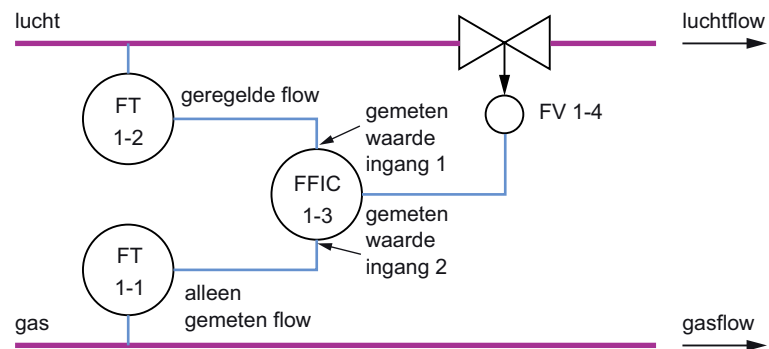
Om meerdere (deel)processen op elkaar af te stemmen, kan men ook voor een verhoudingsregeling kiezen. Die oplossing geldt met name voor gevallen waarin processen in een vaste verhouding tot elkaar moeten staan. In **figuur 178** ziet u een verhoudingsregeling voor het regelen van een gas/luchtmengsel. De luchtfLOW staat in een vaste verhouding tot de

glasflow. Dit om een goede (volledige) verbranding te verkrijgen. Omdat alleen de gasflow door de temperatuurregelaar wordt geregeld, is er een voorziening nodig, die de luchtfLOW constant in de juiste verhouding bijregelt.



Figuur 178 Smeltoven

In **figuur 179** is de verhoudingsregeling uit **figuur 178** nog eens apart weergegeven.

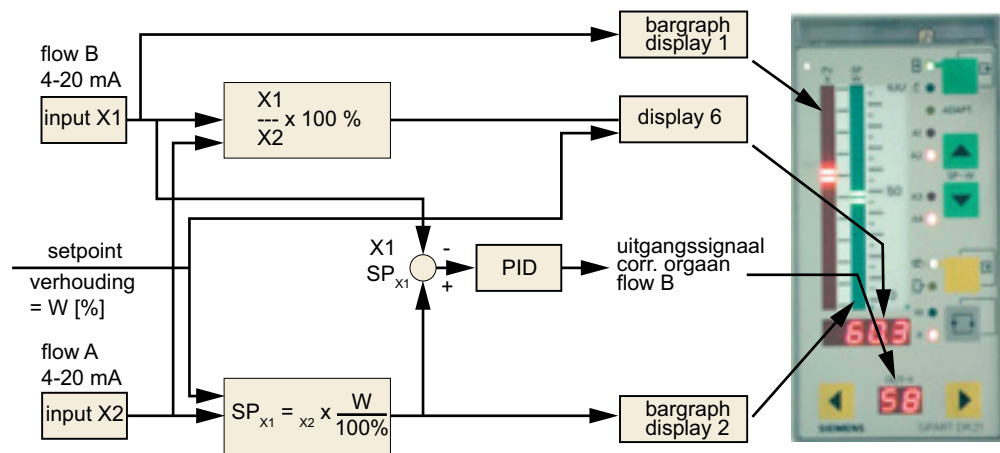


Figuur 179 Verhoudingsregeling

De flowzender FT1-1 meet de gasflow en geeft dit door aan de flowregelaar. De luchtfLOW wordt ook gemeten (FT 1-2) en dit is het tweede ingangssignaal naar de regelaar. De regelaar moet ervoor zorgen dat de klep zodanig wordt bijgestuurd, dat de luchtfLOW de juiste verhouding heeft tot de gasflow. Stijgt nu de gasflow, dan zorgt de regelaar voor een evenredige stijging van de luchtfLOW.

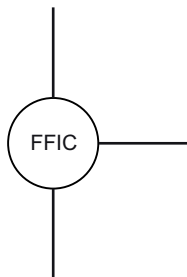
De verhoudingsregelaar heeft dus twee ingangssignalen die in een gewenste verhouding geregeld worden. Deze verhouding wordt als een soort setpoint opgegeven in de vorm van een factor of een verhoudingsgetal. Een factor 1,3 betekent dat de luchtfLOW (zie **figuur 179**) 1,3 maal hoger is als de gasflow. Een verhouding van 50% betekent dat de luchtfLOW de helft is van de gasflow. In **figuur 180** ziet u een voorbeeld

van hoe de twee ingangssignalen en het verhoudingsgetal met elkaar bewerkt worden tot één uitgangssignaal. Niet alle regelaars zijn in te stellen voor een verhoudingsregeling.



Figuur 180 Blokschema van regelaar ingesteld als verhoudingsregeling

Een verhoudingsregeling krijgt als toevoeging in het P&I-symbool de letter F achter de letter van de geregelde grootheid. Zie **figuur 181**.

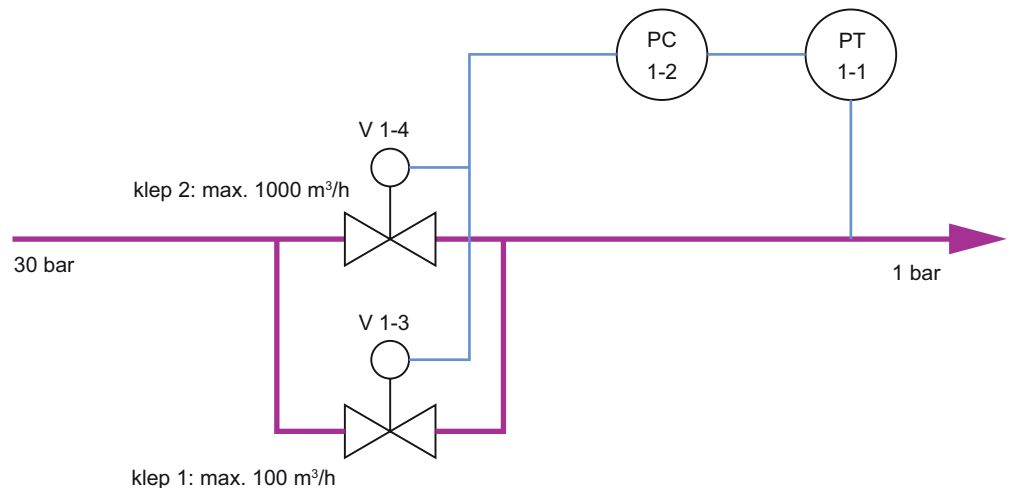


Figuur 181 PI-symbool Flow verhoudingsregelaar

Split-range regelingen

Bij een split-range regeling wordt het uitgangssignaal van de regelaar opgedeeld om twee (of meer) corrigerende organen in één proces aan te sturen. Dit kunnen twee verschillende regelkleppen zijn maar ook combinatie van een verwarmingselement en een klep in een koelvloeistofcircuit.

Het totale uitgangssignaal van de regelaar (4-20mA) wordt verdeeld in twee trajecten. Bijvoorbeeld 4-12 mA voor het aansturen van één regelklep en 10 tot 20 mA voor het aansturen van een andere regelklep. In **figuur 182** ziet u een toepassing van een split-range regeling voor een gasflow.



Figuur 182 Gasflowregeling

Om het gasverbruik te regelen als het verbruik gering is (druk zal niet ver dalen) wordt het signaal tot 12 mA gebruikt om de klep V 1-3 met een kleine capaciteit aan te sturen. Dit geeft een nauwkeurige regeling in het gebied met geringe flow's. Bij een groot verbruik (druk zal eerst verder dalen) zal het uitgangssignaal van de regelaar hoger worden en wordt boven de 10 mA ook regelklep V 1-4 geopend.

Omdat de regelaar maar één signaal afgeeft vindt de werkelijk verdeling (split) van dit signaal plaats door de instellingen van de span- en zero-waarden van het corrigerend orgaan. Als de regelklep V 1-4 pas open mag gaan bij 10 mA moet dit als zerowaarden worden ingesteld.

Een druk/flow-regeling kan ook worden uitgevoerd door één, twee of drie compressoren in te schakelen op basis van een driedeling van het uitgangssignaal. Compressor een wordt altijd ingeschakeld. Als de druk te laag wordt moet bij 10 mA compressor twee worden ingeschakeld en bij 15 mA compressor drie. Ook deze schakelwaarden worden bij de compressor (corrigerend orgaan) ingesteld.

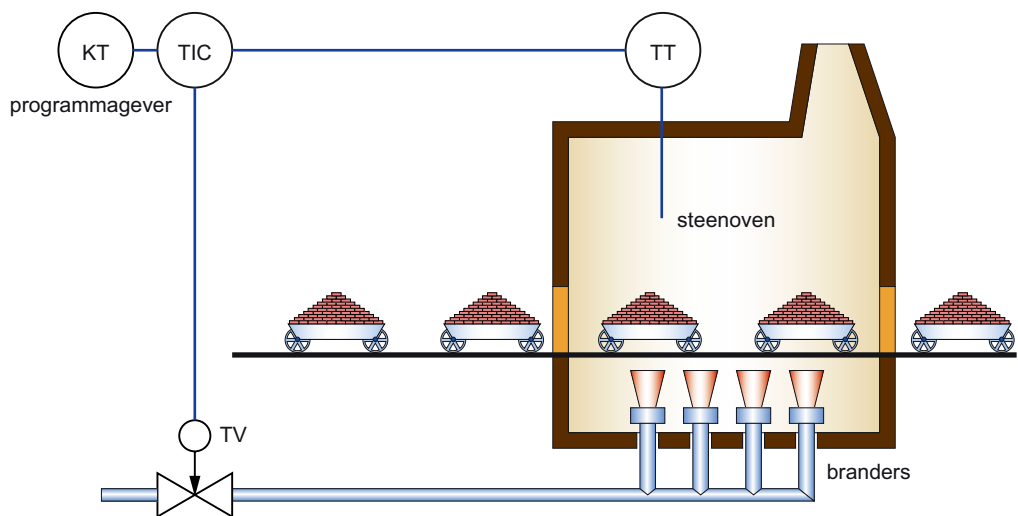
Programma-regelingen

In de tot nu toe behandelde processen moet de geregelde grootheid op een constante waarde blijven. We noemen dit 'continu-processen'.

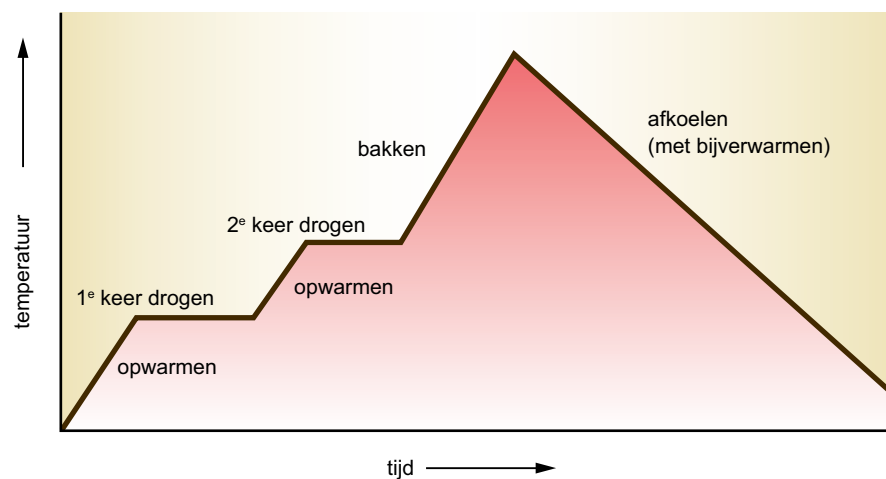
Voorbeelden van continu-processen zijn:

- niveauproces
- drukproces
- flowproces
- temperatuurproces

Naast de continu-processen kent men in de meet- en regeltechniek ook nog de zogenaamde discontinu-processen, ook wel batch-processen genoemd. In **figuur 183** en ziet u hiervan een voorbeeld.



Figuur 183 Toepassing Batch proces



Figuur 184 Baktemperatuur als functie van de tijd

De geregelde grootheid is bij een batch-proces niet constant, maar afhankelijk van de tijd. De ingestelde waarde voor de regelaar wordt steeds veranderd. Dit noemt men een **regelkring met gestuurd setpoint of een**

programmaregeling.

De programmaregeling is geschikt voor een proces, waarin na verloop van tijd andere eisen gelden voor de te regelen grootheid. Bijvoorbeeld in een bakoven voor klei (pottenbakkerswerk, beeldjes e.d.), zie **figuur 184**, waar het productieproces volgens een vast programma moet verlopen.

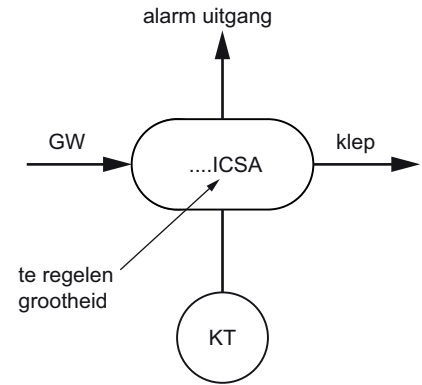
De oven moet bijvoorbeeld bij een bepaalde temperatuurgradiënt (verandering per tijds-eenheid) worden opgewarmd tot een bepaalde droogtemperatuur. Deze moet een zekere tijd gehandhaafd blijven en daarna wordt de temperatuur verder opgevoerd om op zekere hoogte weer een tijdje constant te blijven. Vervolgens wordt de temperatuur nog een keer verhoogd en dan moet de oven met een vaste temperatuurgradiënt, heel langzaam (mogelijk zelfs nog met enige bijverwarming) afkoelen.

De temperatuurregeling, die de branders (of het element van elektrische ovens) bestuurt, moet dus steeds anders zijn ingesteld. Anders zijn de onregelmatige temperatuursveranderingen niet mogelijk. In zo'n geval is een programmaregelaar erg nuttig.

In **figuur 185** ziet u een geavanceerde regelaar die als programmeerder te gebruiken is. Met een dergelijke regelaar zijn eenvoudige programma's met een beperkt aantal stappen te programmeren. In **figuur 186** is voor dit type programmeerder het P&I-symbool getekend.



Figuur 185 Programma-regelaar



Figuur 186 P&I-symbool

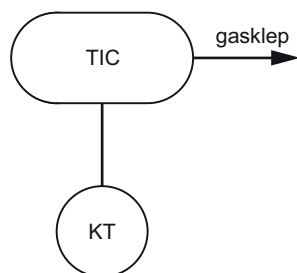
Bij een batchproces waar gebruik gemaakt wordt van een procescomputersysteem kunnen heel uitgebreide stappenprogramma's worden toegepast. Er zijn verschillende softwarepakketten te koop voor de besturing van batchprocessen. De verschillende stappen(=deelprocessen) zijn dan visueel op de monitor. Deze batchprogramma's maken gebruik van signalen van instrumentatie uit het proces. Zo kan in een bepaalde processtap bijvoorbeeld de pomp pas starten als in de vorige stap een bepaald niveau in de tank is bereikt.

Een moderne CV-thermostaat is ook een vorm van een programma-regelaar U bepaalt wanneer dag- en nachttemperatuur ingaan. Bijvoorbeeld om 23.00 uur op 10 °C en om 7.00 uur 20 °C. De laatste ontwikkeling is dat 's nachts wordt bijgehouden hoelang het duurt om een vertrek één graad Celsius in temperatuur te verhogen.

Aan de hand van deze gegevens berekent de programmagever (luxe kamerthermostaat) wanneer er moet worden begonnen met stoken om op tijd de kamer op temperatuur te hebben. Als u opgeeft dat het om 7.00 uur 20 °C moet zijn, dan begint de installatie vroeger te stoken. **Figuur 187** geeft een foto van zo'n thermostaat, terwijl **figuur 188** het P&I-symbool laat zien.



Figuur 187 Luxe kamerthermostaat



Figuur 188 P&I-symbool

Het lezen van P&I-schema's

In dit hoofdstuk zijn de belangrijkste regelingen besproken. Als u deze regelingen kent en u kent ook een bepaald proces, dan kunt u daarmee het P&I-schema lezen. Dat betekent dat u nu ook de werking van een volledige installatie kunt doorgronden. Daarvoor moet u wel iedere keer een aantal stappen zetten.

Deze zijn:

Stap 1

- Bestudeer het proces; begin met de toevoer van (half)-produkten.
- Bekijk waar de (half)-produkten terecht komen, wat voor bewerking (koelen, verwarmen, mengen enz.) ze ondergaan en waarmee deze bewerking tot stand komt (respectievelijk koelwater, stoom, ander half-produkt, enz.).
- Bepaal waar het produkt na bewerking heen gaat en herhaal stap a t/m c totdat het proces van de hele installatie bekend is.

Het is van het grootste belang, dat u eerst het proces kent. Dan kunt u beoordelen wat de regelingen precies met het proces moeten doen. Alleen zo kunt u bepalen waarom een klep bij het uitvallen van de hulpenergie dicht of open moet. Komt u er alleen niet uit, probeer dan samen met uw collega's achter de werking van het proces te komen.

Stap 2

Bekijk nu stuk voor stuk welke regelkringen er op het proces zitten, te beginnen bij de toevoer van de halfprodukten.

Stel hierbij de volgende vragen:

- Wat wordt er geregeld? Zie opnemer(s).
- Wat voor werking heeft het corrigerend orgaan? Zie bijvoorbeeld de pijl op de klepsteel van een regelklep.
- Wat moet er met de klep gebeuren, als de geregelde grootte door een verstoring toeneemt? Stel dat de klep verder open moet als de geregelde grootte groter wordt. Dit betekent (althans wanneer de opnemer direct werkend is) dat wanneer het gemeten waardesignaal toeneemt, het klepsignaal ook verder toe moet nemen. Dit is typerend voor de direct werkende regelaar.
- Heeft één regelkring meerdere opnemers, dan is het van een cascaderегeling of een verhoudingsregeling. Telt de regeling maar één regelaar, dan is het vrijwel zeker een verhoudingsregeling. Alhoewel niet voor

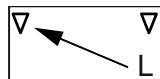
100% zeker, herkent u een verhoudingsregeling ook aan twee identieke opnemers en natuurlijk aan de letter F in het symbool voor de regelaar.

- Wat voor alarmering zit er op de regelkring en waarvoor dient deze alarmering?
- Wat voor indicatiemogelijkheden zijn er in de regelkring en wat registreren ze?

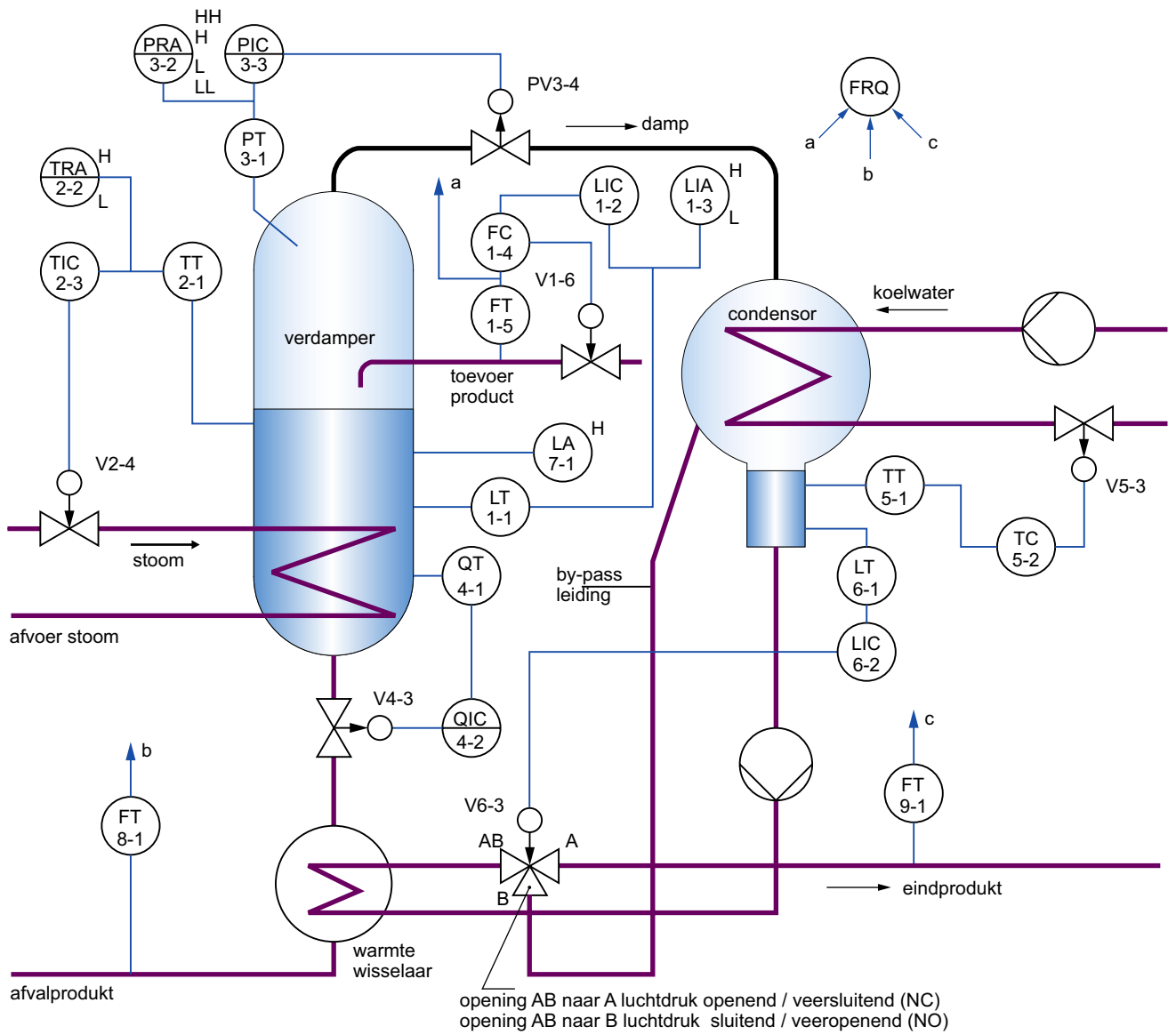
In **figuur 165** in het begin van dit hoofdstuk staat het schema van een destillatie-installatie. In de verdamper wordt bij een bepaalde, nauwkeurig gehandhaafde druk en temperatuur het te winnen produkt afgescheiden als damp. In de condensor slaat de damp weer neer. Het afvalprodukt moet men koelen en het eindprodukt, dat verderop in de bewerking opnieuw moet worden verwarmd, kan de warmte van het afvalprodukt heel goed gebruiken. De volgende opgaven gaan over **figuur 165** en **190**

Opgaven

279. Waar komt de toevoer van het produkt terecht en wat gebeurt er mee? Geef ook aan waarmee het wordt bewerkt.
280. Waar gaat het nieuwe produkt heen en wat gebeurt er mee? Geef ook aan waarmee het wordt bewerkt.
281. Waar gaat het produkt uit de condensor heen?
282. Hoeveel regelkringen omvat het schema?
283. Omdat de toevoer van het produkt sterk kan veranderen, heeft men de regeling van afsluiter V1-6 op een bijzondere manier uitgevoerd. Dit blijkt uit het schema. Hoe heet zo'n regeling en hoe werkt hij?
284. Om het afvalprodukt uit de warmtewisselaar altijd te kunnen koelen heeft men de afvoer van het eindprodukt uit de condensor geregeld. Beschrijf het toegepaste principe.
285. Is het voor het proces ongewenst om voor afsluiter V4-3 de tegengestelde actie te kiezen in plaats van de aangegeven actie? Verklaar uw antwoord.
286. Bij het schema hoort ook een installatieschema, waarin het symbool van **figuur 189** voorkomt. Welke codering heeft dat instrument in het P&I-schema? Schets ook het P&I-symbool.



Figuur 189 Symbool



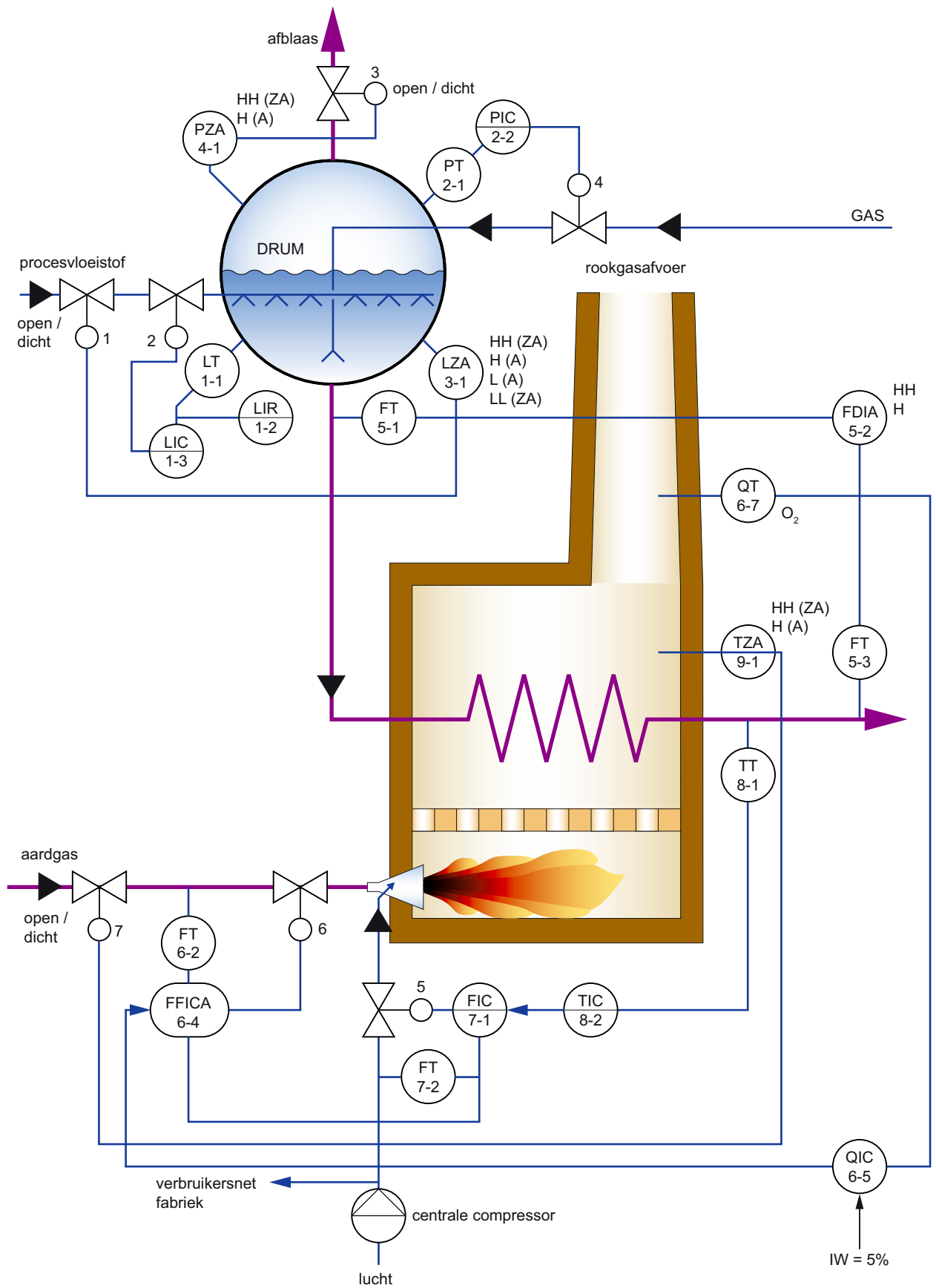
Figuur 190 P&I-schema van een destillatie-installatie

Eindopdracht

In **figuur 191** ziet u het schema van een proces, waarbij een gas in een vloeistof wordt opgelost. De met gas verrijkte vloeistof wordt vervolgens in een oven op een bepaalde temperatuur gebracht. Daardoor ontstaat een reactie. De reactie levert een grondstof die bestemd is voor verdere bewerking. Tijdens het oplossen en het verhitten staat het proces onder hoge druk. Ter verhoging van de veiligheid is op verschillende plaatsen een alarm ingebouwd. Om milieu-technische redenen wordt de branderregeling zodanig ingesteld, dat er een lichte overmaat aan zuurstof ontstaat.

Opgaven

287. Hoe wordt het niveau in de drum geregeld?
288. Wat is de functie van alarm LZA 3-1?
289. Hoe dienen de acties van klep 1 en 2 te verlopen (veeopenend of veersluitend)?
290. Hoe wordt de druk in de drum geregeld?
291. Wat is de functie van alarm PZA 4-1?
292. Waardoor wordt klep 3 gestuurd?
293. Hoe dienen de acties van klep 3 en 4 te verlopen?
294. Wat wordt met de regelaars FIC 7-1 en TIC 8-2 geregeld?
295. Hoe noemt men het type regeling dat gevormd wordt door de regelaars FIC 7-1 en TIC 8-2?
296. Hoe wordt met regelaar FFICA de hoeveelheid aardgas geregeld?
297. Hoe noemt men het type regeling met regelaar FFICA 6-4?
298. Hoe wordt met regelaar QIC 6-5 het zuurstofoverschot geregeld en wat vormen QIC en FFICA dus samen?
299. Wat is de functie van alarm TZA 9-1?
300. Wat is de functie van alarm FDIA 5-2?
301. Wat gebeurt er als de luchtcompressor uitvalt?



Figuur 191 Schema proces

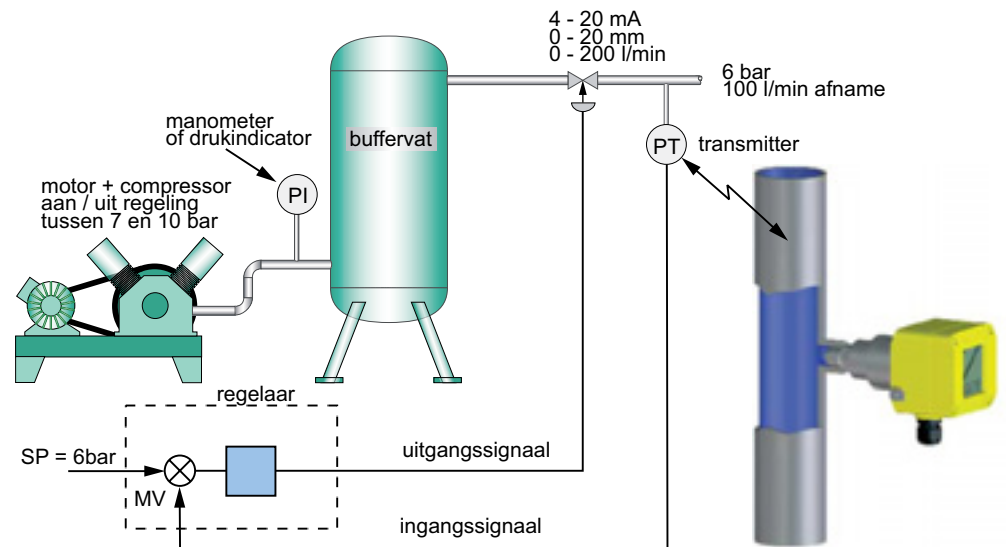
Hoofdstuk 8 Transmitters

Transmitters in het proces

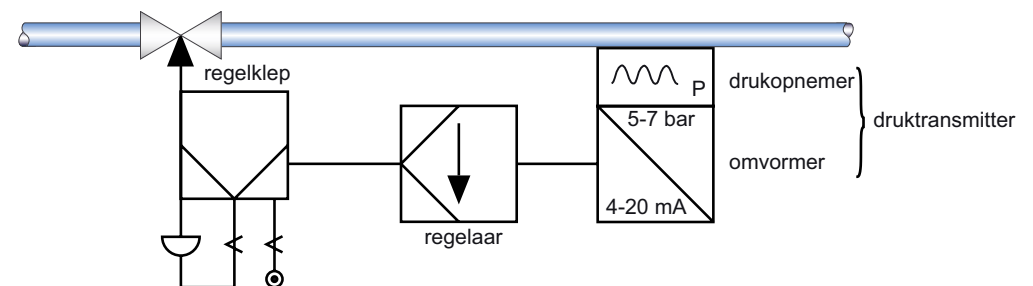
In dit hoofdstuk leert u de belangrijke aspecten kennen die voor iedere transmitter gelden:

- Functie van een transmitter in een meet-en regelproces
- Instelmogelijkheden van een transmitter
- Indicators
- Meetnauwkeurigheden

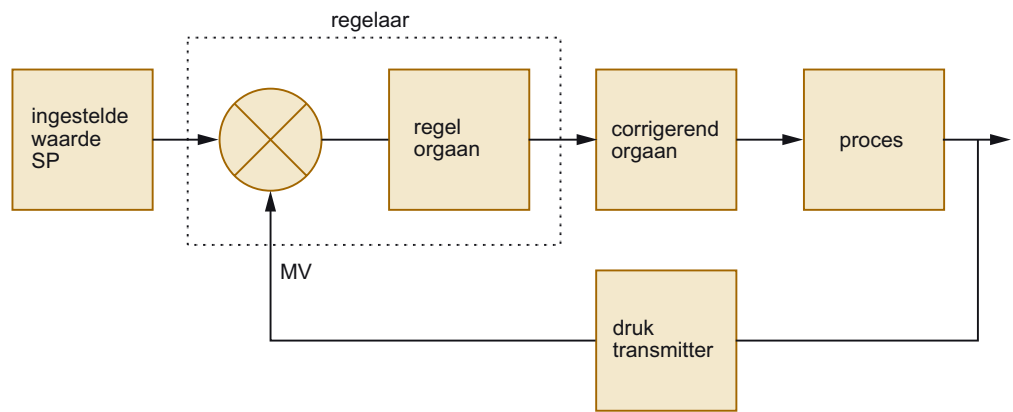
De druktransmitter in **figuur 192** meet de druk in de leiding na de regelklep. De transmitter geeft de gemeten waarde van die druk als een signaal in mA door aan de regelaar met het doel de druk na de klep op 6 bar te houden. **Figuur 193** en **figuur 194** geven respectievelijk het installatieschema en het blokschema van de regelkring van **figuur 192**.



Figuur 192 Drukregeling met druktransmitter (pressure transmitter)



Figuur 193 Installatie schema drukregeling



Figuur 194 Blokschema druktransmitter in regelkring

Benamingen en functie transmitter

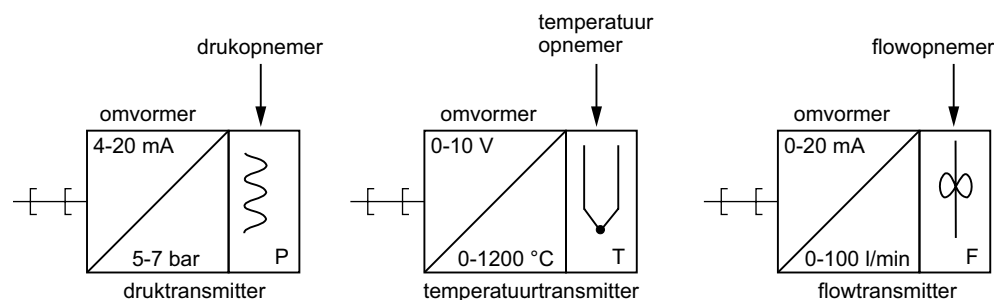
Transmitters komen in veel soorten en constructies voor, afhankelijk van het proces dat geregeld wordt. Ook worden nogal wat verschillende benamingen gebruikt zoals zender, sensor of opnemer.

In deze cursus verstaan we onder een transmitter een instrument dat een gemeten, natuurkundige grootte opneemt en deze omzet in een standaard signaal en verzendt.

Een opnemer meet een natuurkundige grootte, zoals druk, temperatuur of flow. Ook de zuurgraad van een vloeistof of de radioactiviteit van een materiaal kan gemeten worden. De door de opnemer gemeten waarde (b.v. druk) wordt in de meetomvormer omgezet in een standaard signaal bijvoorbeeld 4 – 20 mA of 0 - 10V.

De druktransmitter in **figuur 195** heeft een ingesteld meetbereik van 2 bar, namelijk van 5 tot 7 bar. Bij deze druk tussen 5 en 7 bar zal een evenredig signaal van 4 – 20 mA worden afgegeven door de transmitter.

In het spraakgebruik wordt een druktransmitter of temperatuurtransmitter kortweg transmitter genoemd.



Figuur 195 Installatie symbolen transmitters

Gemeten druk ingang transmitter	Uitgangssignaal transmitter	Gemeten temperatuur ingang transmitter	Uitgangssignaal transmitter	Gemeten flow ingang transmitter	Uitgangssignaal transmitter
5 bar	4 mA(live zero)	0 °C	0 V(death zero)	0 l/min	0 mA(death zero)
5,5 bar	8 mA	300 °C	2,5 V	25 l/min	5 mA
6 bar	12 mA	600 °C	5 V	50 l/min	10 mA
6,5 bar	16 mA	900 °C	7,5 V	75 l/min	15 mA
7 bar	20 mA	1200 °C	10 V	100 l/min	20 mA

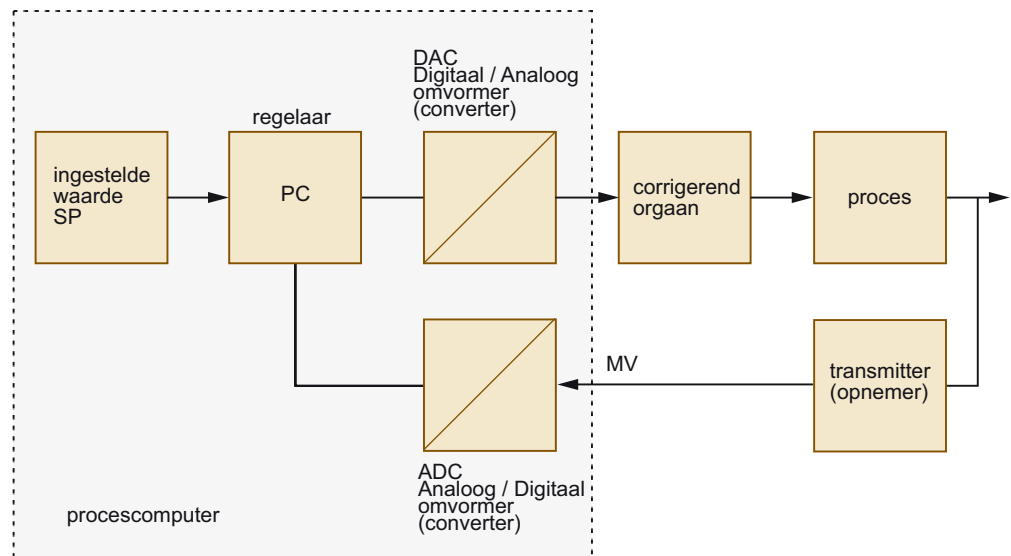
Figuur 196 Tabellen met in- en uitgangswaarden van de transmitters van **figuur 195**

Naast de standaard spanning- en stroomsignalen van bijvoorbeeld druk-, flow- of niveauretransmitters, kent de meet- en regeltechniek ook nog gestandaardiseerde signalen van temperatuuropnemers (PT-100 en thermokoppel).

Regelaars beschikken over een specifieke ingang om dit type signaal (mV of weerstandsverandering) direct te kunnen verwerken. Voor procescomputersystemen zijn er ook specifieke inputkaarten voor deze type opnemers beschikbaar. De omvormer is nu geen onderdeel van de transmitter, maar van de regelaar of inputkaart.

Bij een regelaar moet nog wel worden ingesteld welk type Pt-100 of thermokoppel (T, J, S, K-type) aangesloten is. Nu wordt het signaal direct weergegeven als temperatuurwaarde.

Ook kan bij dit type opnemers de signaalomvormer in de kop gemonteerd zijn. Het voordeel hiervan is dat er een standaard signaal beschikbaar is wat niet alleen bruikbaar is voor een regelaar.



Figuur 197 Procescomputer als regelaar

In **figuur 197** fungeert een procescomputer als regelaar. De beide omvormers zijn nodig om het analoge meetsignaal aan de ingang van de procescomputer digitaal te kunnen verwerken en de digitale uitgang om te zetten naar een analoge signaal voor het corrigerend orgaan. De meeste procescomputers zijn uitgerust met analoge in- en uitgangskarten, waarop de ADC en DAC geïntegreerd zijn. Wanneer transmitters een digitale uitgang hebben, is via een ingangskart een digitale verbinding met de procescomputer mogelijk. Hetzelfde geldt voor het corrigerend orgaan.

Meetgebied,
meetbereik,
nulpunt van een
transmitter

Vanwege de kosten en standaardisatie kan niet voor ieder proces en voor iedere meetwaarde een aparte transmitter gemaakt worden. Transmitters worden geproduceerd voor een bepaald meetgebied. Daarin is het gewenste meetbereik in te stellen.

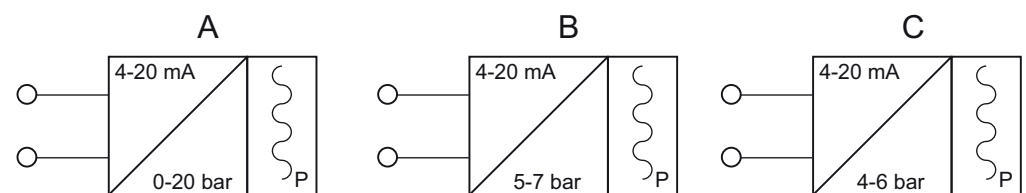


Figuur 198 Druktransmitter met een meetgebied of range van 0 - 70 kPa (a)

Een ontwerper bepaalt dat voor een proces een druktransmitter nodig is, die een druk van 5 - 7 bar kan omzetten naar een standaard signaal van 4 - 20 mA. Zo'n transmitter bestaat niet. Er is wel een transmitter die een druk van 0 - 20 bar omzet in het gewenste standaard signaal. Het meetgebied van de transmitter ligt tussen de 0 en 20 bar. Deze transmitter kan maximaal over een span of meetbereik van 20 bar (van 0 - 20 bar) meten. De gewenste span of meetbereik van 2 bar

(van 5 - 7 bar) kan ingesteld worden. De ingestelde span van 2 bar kan beginnen op 0 bar (van 0 - 2 bar), maar ook op 18 bar (van 18 - 20 bar) of ergens daar tussenin.

Met de zerofunctie wordt de beginwaarde van de span of het meetbereik ingesteld. In dit geval wordt de zero op 5 bar ingesteld en geeft de transmitter met een span van 2 bar een meetbereik van 5 - 7 bar, waarbij de transmitter een standaard signaal afgeeft van 4 - 20 mA.



Figuur 199 Druktransmitter afgesteld op drie verschillende meetbereiken

Druktransmitter A in **figuur 199** is ingesteld op een meetbereik (span) van 0-20 bar. Als het meetgebied van deze transmitter 0-20 bar is, dan is in dat geval het meetgebied gelijk aan het meetbereik.

Moderne transmitters kennen vaak geen zero en span meer. De instellingen zijn dan Low Range Value (LRV) en Upper Range Value (URV).

Opgave

302. Wat moet er op de transmitter van **figuur 199 B** versteld worden om de situatie van **figuur 199 C** te bereiken? Hoe en waar stelt u dat af?

De ontwerper bepaalt in een systeem het meetgebied en het in te stellen meetbereik van de transmitter moet zijn. De monteur moet bij deze transmitter het meetbereik kunnen controleren bij storing of kunnen instellen bij vervanging.

Nederlands	Engels	Duits
Meetgebied	Range	Meßspanne
Meetbereik	Span	Meßbereich
Nulpunt	Zero	Nullpunkt

Figuur 200 De begrippen in diverse talen



Figuur 201 Druktransmitter met span en zero instelpotmeters

Opgaven

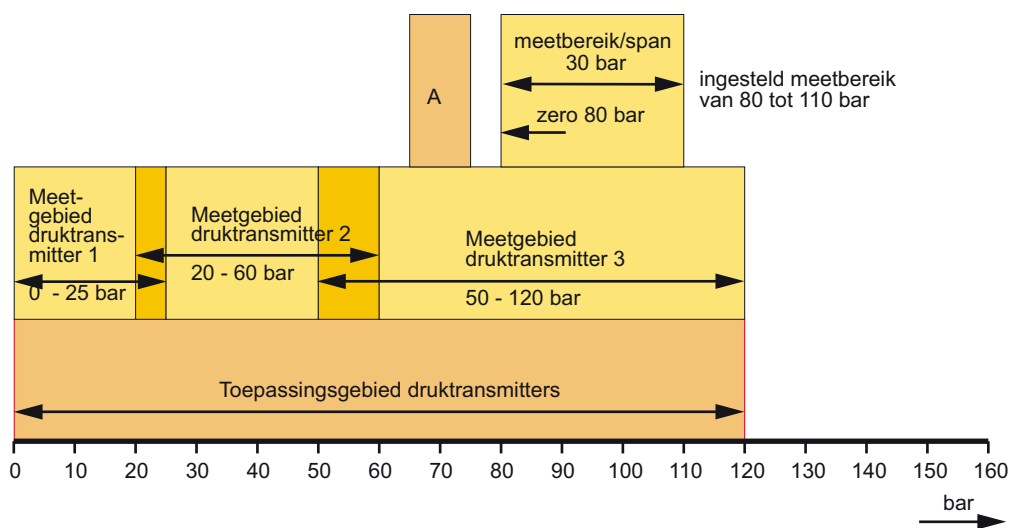
303. Wat gebeurt er met de versterkingsfactor van de totale regelkring als de span van een transmitter gehalveerd wordt?
304. Een druktransmitter is ingesteld op een meetbereik van 0-16 bar (4-20mA). Bij de regelaar zijn een aantal parameters zo ingesteld dat op het display ook een schaal (PV) tussen 0-16 bar gebruikt

wordt bij een ingang van 4-20 mA. De span van de transmitter wordt nu gehalveerd tot 8 bar. Wat heeft dit voor gevolg voor de uitlezing op de regelaar?

305. Wat is de span en zero instelling van blok A in **figuur 203**?
306. Wat is het meetgebied van druktransmitter 3 in **figuur 203**?



Figuur 202 Druktransmitterserie met een toepassingsgebied

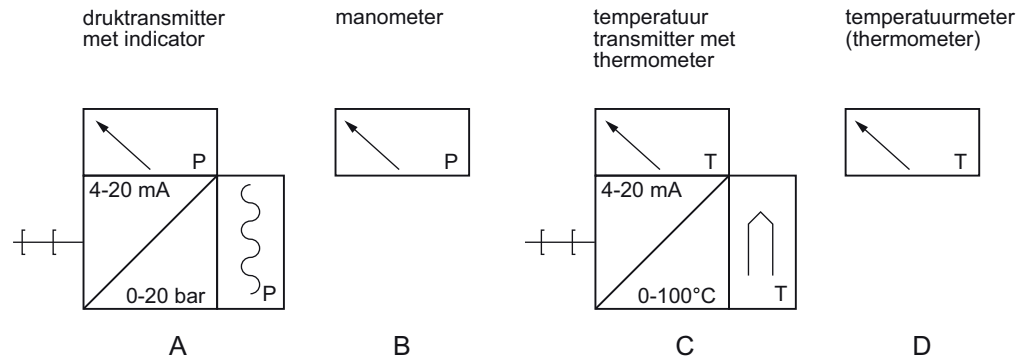


Figuur 203 Voorbeeld van meetgebieden van druktransmitters

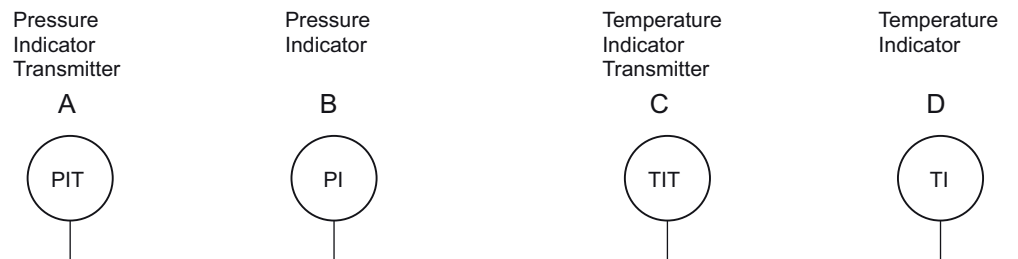
Indicators (aanwijzers)

Indicators zoals manometers en temperatuurmeters geven alleen de gemeten druk of temperatuur weer. Is de indicator samengebouwd met een transmitter, dan wordt dat in het installatie-en P&I- schema weergegeven, zie **figuur 204** (A en C) en **figuur 205** (A en

C). Op zichzelf staande indicator geven geen meetsignaal af en kunnen dus slechts afgelezen worden, zie **figuur 204** (B en D) en **figuur 205** (B en D).



Figuur 204 Verschillende indicators in installatiesymbolen



Figuur 205 Verschillende indicators in P&I symbolen

Nauwkeurigheid

Meetinstrumenten (transmitters, indicators) worden ingedeeld in een nauwkeurigheidsklasse aangeduid in % van de volle schaal van de meter. De meter in **figuur 206** valt in een nauwkeurigheidsklasse van 0,3%. De nauwkeurigheid waarmee de druk kan worden vastgesteld is $\pm 0,3\%$ van 1,6 bar. De waarde die u afleest verschilt dan plus of min 0,0048 bar van de werkelijke druk.

De klasseaanduiding heeft betrekking op de nauwkeurigheid waarmee het uitgaande signaal overeenkomt met de werkelijke waarde. De keuze van een nauwkeurigheidsklasse is afhankelijk van de toepassing. Voor een indicatie van een pompdruk voldoet de manometer in **figuur 207**.



Figuur 206 Manometer met grote nauwkeurigheid (voor ijking)

Een manometer is een indicator, daarom heeft u ook nog te maken met de nauwkeurigheid waarmee u de druk kunt aflezen. Dit komt tot uitdrukking in de schaalverdeling. Bij een transmitter wordt het signaal door andere componenten (omvormers) bewerkt voordat u de waarde ergens op een display afleest. De zwakste schakel (instrument met geringe nauwkeurigheid) heeft de grootste invloed op de nauwkeurigheid.



Figuur 207 Industriële manometer

In de keten van transmitter tot en met regelaar of uitlezing kunnen zowel systematische als toevallige fouten ontstaan.

Toevallige fouten zijn willekeurig, niet altijd van dezelfde omvang en vaak veroorzaakt door menselijke fouten of storingen in het systeem.

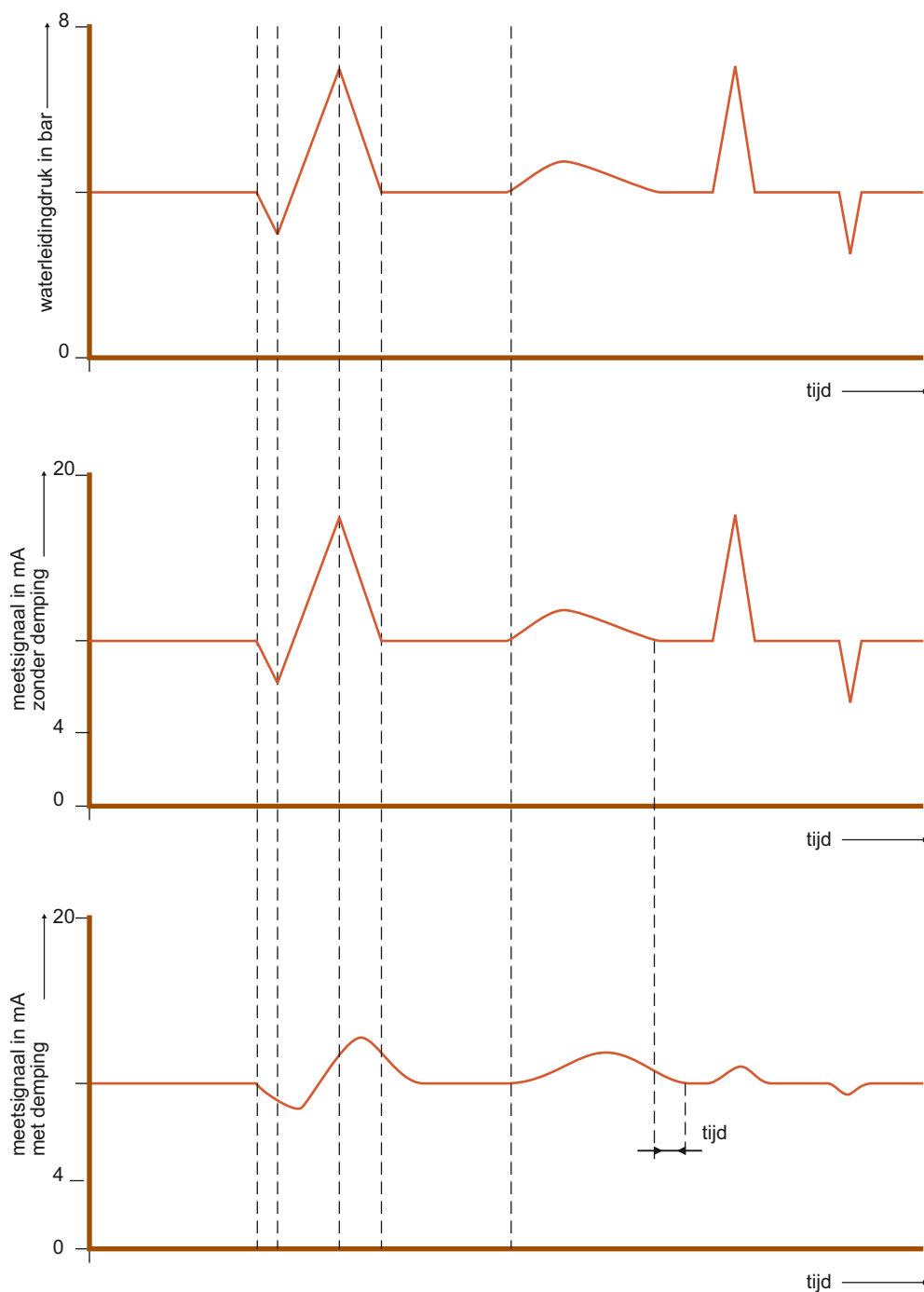
Systematisch fouten worden veroorzaakt door een verkeerde kalibratie van een instrument of een verkeerd ingestelde omvormer in het signaal.

Deze fout heeft altijd dezelfde richting.

Bij een transmitter kunt u een demping instellen. Vooral bij druk-en flowmetingen kunnen er kortstondig plotselinge schommelingen in het proces optreden. Deze veroorzaken pieken in het gemeten signaal die de stabiliteit van de regeling sterk beïnvloeden. Door het meetsignaal te dempen worden pieken afgevlakt. De gemeten waarde wordt niet meer direct doorgegeven, maar als

een gemiddelde signaalwaarde aangegeven. Er ontstaat een 'tijdelijke' afwijking. In **figuur 208** ziet u het effect van demping van een signaal grafisch weergegeven.

De overdrachtsverhouding (gevoeligheid) van de transmitter wordt ingesteld met de span. Een hele kleine span geeft een grote overdrachtsverhouding. Een kleine verandering van de gemeten waarde heeft dan een grote verandering van het uitgangssignaal tot gevolg.



Figuur 208 Effect van demping

Opgaven

- 307.** Wat is het gevolg voor de regeling als een te sterke demping wordt ingesteld?
- 308.** Hoe ontdekt u de systematische fout in een drukwaarde, afkomstig van een transmitter, die u afleest op een regelaar?

Hoofdstuk 9 Druktransmitters

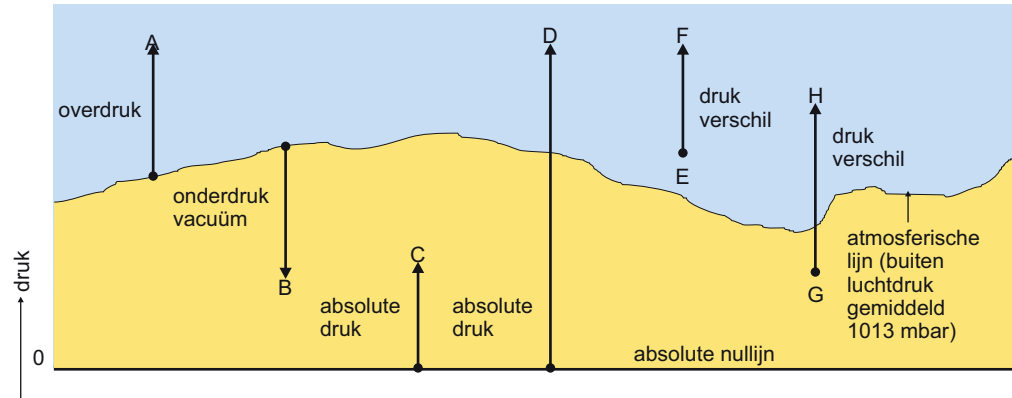
Inleiding Dit hoofdstuk gaat over het meten van druk in processen.

Aan de orde komen:

- Drukindicatoren
- Toepassingen van diverse transmitters
- Meetprincipes
- Kalibreren en testen
- Storingen en onderhoud

Druk Alle drukmetingen zijn in principe drukverschilmetingen, ook al worden ze niet altijd zo genoemd. Er wordt gemeten ten opzichte van de atmosfeer, een andere druk of absoluut vacuüm.

De druk op aarde (atmosferische druk) wordt veroorzaakt door een kolom lucht van ongeveer 8 km hoogte. Door hogedrukgebieden of depressies ontstaan hierin geringe veranderingen.



Figuur 209 Definities van druk

De meeste drukken in de procesindustrie worden gemeten ten opzichte van de atmosferische druk. Bij een druk hoger (A) of lager (B) dan de atmosferische, spreken we van overdruk of onderdruk. Onderdruk wordt ook vacuüm genoemd.

Om drukken in een proces zichtbaar te maken worden lokaal indicators (manometers) geplaatst waar je de waarden direct kunt aflezen.

Buiten de dampkring is het absoluut luchtledig, we spreken dan van het absolute nulpunt voor druk. Metingen ten opzichte van dit nulpunt worden dan ook absolute druk (C/D) genoemd. De atmosferische druk is ongeveer 1 bar absoluut.

Als twee drukken ten opzicht van elkaar worden gemeten, spreken we van een drukverschilmeting (E-F / G-H). Daar waar wordt gemeten ten opzicht van de buitenlucht spreken we ook wel van relatieve druk.

Drukeenheden

Drukken worden uitgedrukt in pascal, bar of afgeleiden daarvan.

Bij over- en onderdrukken wordt de druk aangegeven als 6 bar of 600 kPa.

Waar het verwarring kan opleveren, wordt dit ook wel aangegeven als b.v. 2 bar(g) of bar(o).

De absolute druk wordt aangegeven als 3 bar(a) of 300 kPa (a).

Drukverschillen worden aangegeven als 1.5 bar Dp (delta p).

Indicators en transmitters



Figuur 210 Manometer



Figuur 211 Manometer

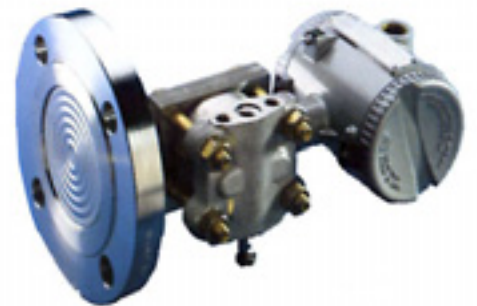
Transmitters dienen om op afstand een aanwijzing (signaalwaarde) van de druk te geven. Deze waarde wordt weergegeven met een indicator, recorder of een beeldscherm, maar kan ook als ingangssignaal van de regelaar gebruikt worden.



Figuur 212 Druktransmitters in proces



Figuur 213 Druktransmitters in proces



Figuur 214 Elektronische transmitter uitgevoerd met scheidingsmembraan



Figuur 215 Druktransmitter



Figuur 216 Drukverschiltransmitter

Indicators

Indicators komen voor in diverse uitvoeringen. Elk proces vraagt met zijn specifieke eigenschappen, om een uitvoering van de indicator die hiervoor het meest geschikt is.

Bourdonmanometer(buisveer)



Figuur 217 Bourdonmanometer

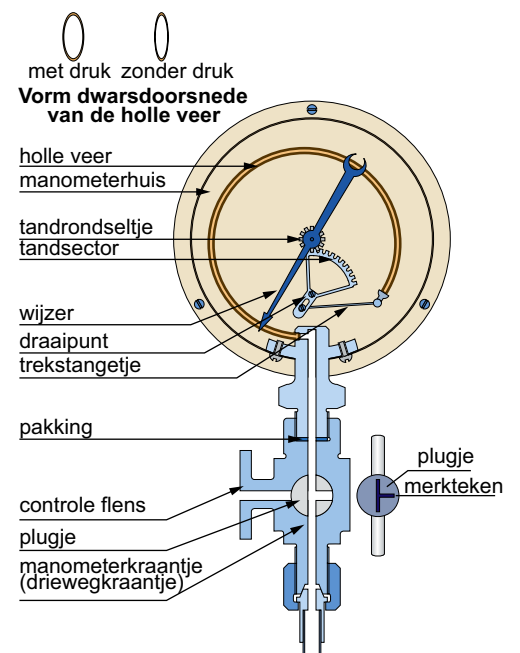
- Meest gebruikte manometer
- Geschikt voor het aanwijzen van zowel over- als onderdruk
- Toepassingsgebied -1 tot 1000 bar
- Meting van gassen en vloeistoffen
- Niet geschikt voor kristalliserend medium
- Werktemperatuur maximaal 100 °C

Werking



Figuur 218 Feesttoeter

De Bourdonmanometer heeft als meetelement een veerkrachtige rondgebogen, ovale metalen buis (bourdon) die aan een kant gesloten is en aan de andere kant wordt aangesloten op het proces. Zie **figuur 219**.



Figuur 219 Werking Bourdonmanometer

Door de oplopende druk zal de ovale buis minder ovaal worden en zich daardoor strekken. De ontstane verplaatsing van de buis zorgt via een overbrenging voor de aanwijzing. Meetgebieden voor manometers zijn gestandaardiseerd. Zie tabel van **figuur 220**.

Meetgebieden standaard manometers			
0 - 0,6 bar	0 - 6 bar	0 - 60 bar	0 - 600 bar
0 - 1 bar	0 - 10 bar	0 - 100 bar	0 - 1000 bar
0 - 1,6 bar	0 - 16 bar	0 - 160 bar	
0 - 2,5 bar	0 - 25 bar	0 - 250 bar	
0 - 4 bar	0 - 40 bar	0 - 400 bar	

Figuur 220 Tabel met meetgebieden voor manometers

Aansluiten

De manometer wordt op het proces aangesloten via een speciale manometerkraan.



Figuur 221

Met de kraan wordt de manometer niet alleen afgesloten van het proces maar kan tevens, middels een aftapplugje, drukloos worden gemaakt voor demontage. Soms heeft de kraan een extra testaansluiting om tijdens bedrijf te kunnen testen. Hiermee wordt het mogelijk om de aanwijzing van de manometer te controleren zonder deze af te koppelen van de werkende installatie. Voor het kalibreren dient de meter echter te worden gedemonteerd en vervolgens op een testinstallatie te worden aangesloten.

Opgave

309. Welke gevolgen heeft een verstopping van de bourdonbuis voor de drukmeting?

Manometer met scheidingsmembraan



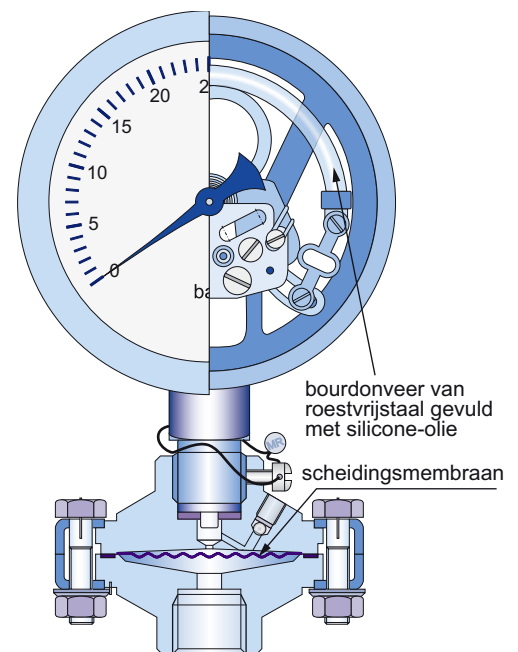
Figuur 222 Manometer met scheidingsmembraan

- Geschikt voor het nauwkeurig meten van lage drukken
- Geschikt voor het aanwijzen van zowel over- als onderdruk
- Toepassingsgebied -1 tot 40 bar
- Werktemperatuur maximaal 100 °C
- Kan ook met kunststof bekleding

Door scheidingsmembraan ook geschikt voor agressieve media of kans op vervuiling.

Werking
De manometer heeft als meetelement een bourdonveer (voor de werking zie omschrijving van de bourdonveermanometer). Een scheidingsmembraan voorkomt echter dat het medium in contact komt met het meetelement. De druk plant zich voort middels een vloeistofvulling tussen membraan en meetelement. Zie **figuur 223** en **figuur 224**.

Door de toepassing van een scheidingsmembraan kan worden voorkomen dat vervuiling in het medium in de manometer kan komen met verstopping als gevolg. Tevens wordt de manometer beschermd tegen agressieve media doordat het membraan van hoogwaardig materiaal is of voorzien wordt van een teflon coating. Vloeistoffen met kristalliserende eigenschappen kunnen goed gemeten worden door montage van de flens direct op een leiding of vat. Dode hoeken of stilstaand medium in leidingen mogen niet voorkomen. Voor de voedselindustrie zijn deze eigenschappen ook van belang ter voorkoming van bacterievorming.



Figuur 223 Manometer doorsnede met scheidingsmembraan



Figuur 224 Manometer met scheidingsmembraan

Aansluiten

De membraanmanometer wordt op het proces aangesloten via een speciale flensverbinding.

Door de vlakke uitvoering van de flens en het membraan is een montage mogelijk zonder dode hoeken. Door deze constructie is reiniging of spoelen van de totale installatie goed mogelijk. Voor het meten van lage drukken is het membraan groter dan bij zeer hoge drukken.



Figuur 225 Flensaansluiting voor een manometer

Drukverschil manometer



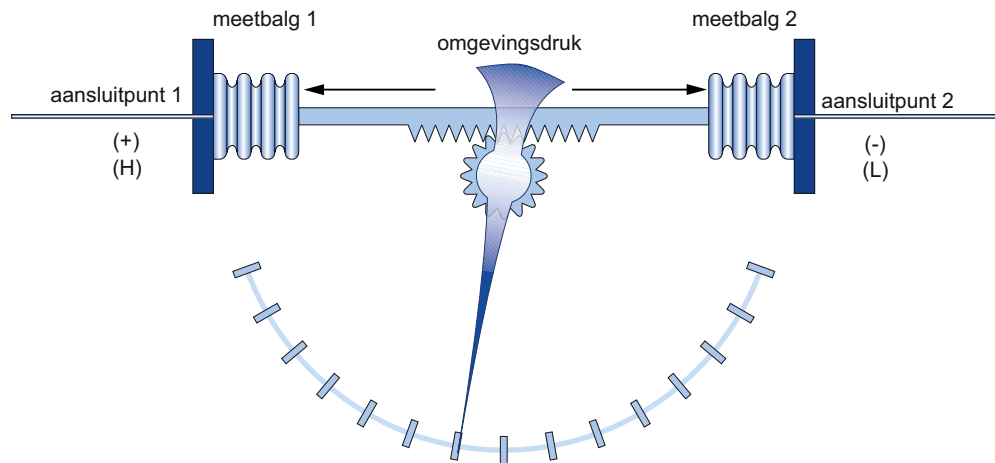
Figuur 226 Drukverschilmanometer

- Drukverschilmeting over filters, pompinstallaties of tanks
- Toepasbaar in het gebied van zowel overals onderdruk-drukverschil.
- Meting van gassen en vloeistoffen
- Maximaal statische druk 100 bar
- Toepassingsgebied 0-10 mbar / 0-25 bar
- Werktemperatuur maximaal 100 °C

Werking

De drukverschilmanometer heeft twee ingangen die zijn aangesloten op de meetelementen. Zie **figuur 227**. Deze elementen kunnen ook twee tegenover elkaar liggende bourdonbuizen zijn.

De invloed van de omgevingsdruk wordt geëlimineerd doordat de krachten hiervoor op de meetbalgen 1 en 2 tegengesteld werken en elkaar dus opheffen. Van belang is een juiste aansluiting op het proces. Op de plusaansluiting (meetbalg 1) dient de hoogste van de twee te meten drukken te worden aangesloten.



Figuur 227 Werking drukverschil manometer

Opgave

310. Wat is het gevolg als de hoogste van de twee te meten drukken op meetbalg 2 wordt aangesloten?

Aansluiten

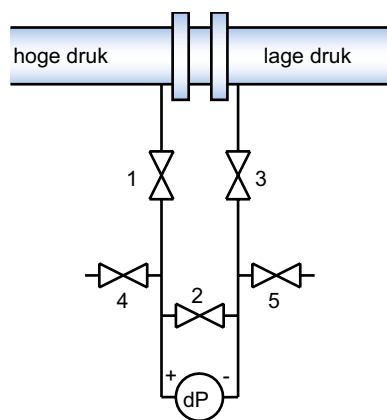
De manometer wordt op het proces aangesloten via een speciaal afsluiterblok (Manifold). Zie **figuur 228** en **figuur 259**.



Om te voorkomen dat de manometer wordt overbelast, moet bij het aan- en afkoppelen de kortsluitafsluiter (vereffeningskraan) tussen de meetpunten open te staan.

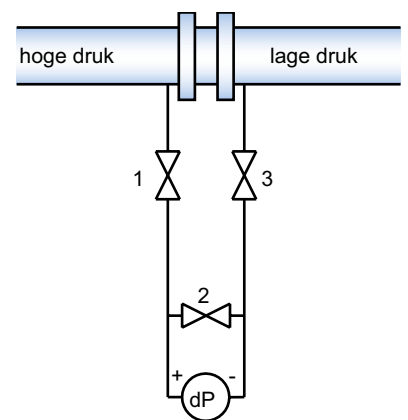
Op de manometer wordt de hoge drukaan-sluiting aangegeven met een + en de lagedruk aansluiting met een -.

Figuur 228 Afsluiterblok



5 kranenblok (manifold)

kraan 1 en 3 voor inblokken
kraan 2 voor druk vereffenen
kraan 4 en 5 voor druk aflaten/spoelen



3 kranenblok (manifold)

Figuur 229 3- en 5 kranenblok

Absolute drukmanometer



Figuur 230 Absolute drukmanometer (barometer)

Toepassing

De meest toegepaste absolute drukmanometer is de bekende barometer. Daarmee wordt de atmosferische druk op aarde gemeten. Ook in de procesindustrie is het soms noodzakelijk de absolute druk te meten, bijvoorbeeld bij reactoren waarin onder een bepaalde absolute druk een reactie moet plaatsvinden. Ook bij flowmetingen waarbij drukcompensatie noodzakelijk is, wordt de absolute druk gemeten.

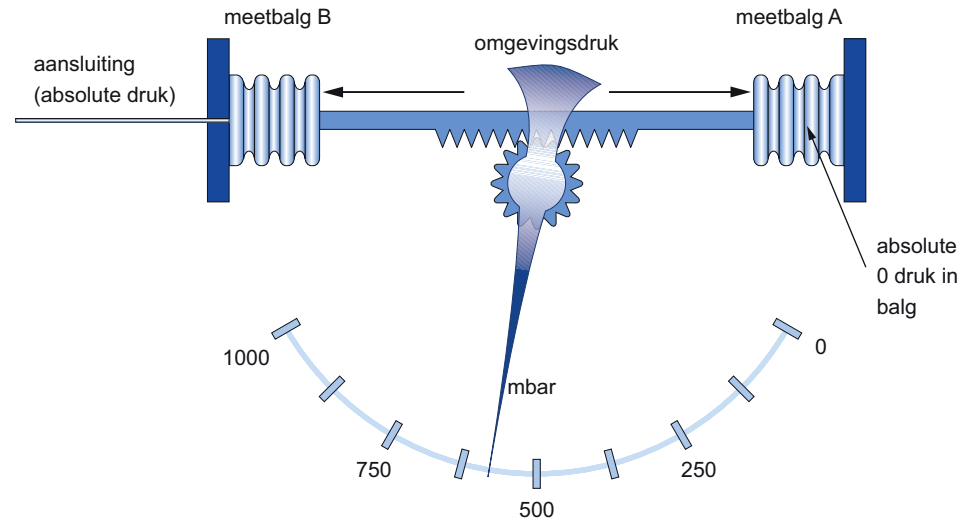
Voor een absolute drukmeting moet het meetelement het verschil meten tussen de procesdruk en het absoluut nulpunt. Zie **figuur 231**.

Werking

De meetbalg A wordt absoluut vacuüm gemaakt. Als nu op aansluiting B de procesdruk wordt aangesloten, wordt deze vergeleken met de druk in balg A waardoor de aanwijzing de absoluut gemeten druk aanwijst.

Opgave

311. Heeft de omgevingsdruk invloed op de meter?



Figuur 231 Balgmanometer voor het meten van absolute druk

Aansluiten

Afhankelijk van de uitvoeringsvorm wordt de manometer op het proces aangesloten overeenkomstig de overdruk manometers.

Storingen en onderhoud druki- dicators

Opgaven

312. Een meetleiding is verstopt. Hoe wordt dat ontdekt en welke acties moeten dan ondernomen worden?

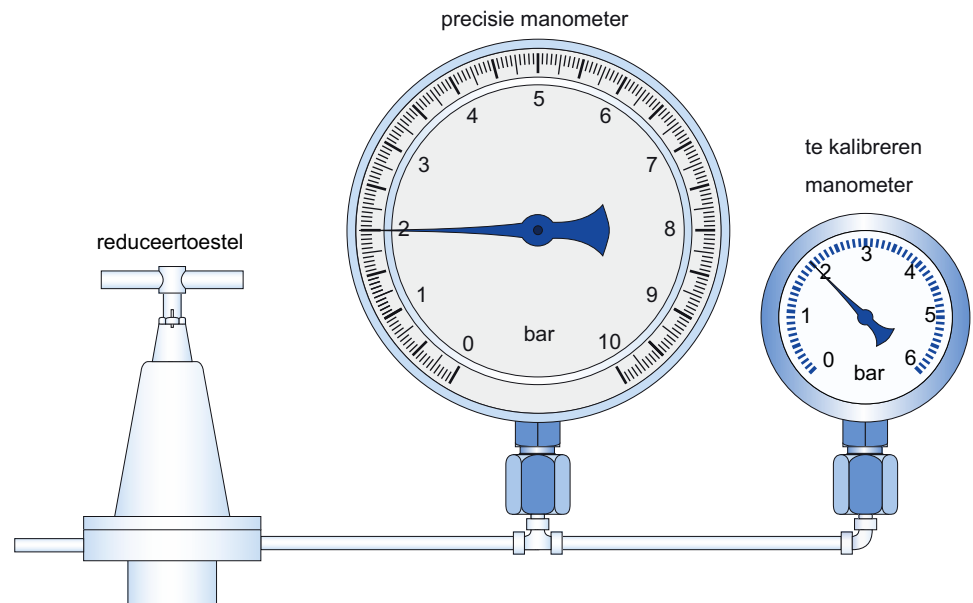
313. Vul in de onderstaande tabel drie inspectiepunten in, om storingen te voorkomen of eerder te signaleren.

Inspectiepunten	Norm	Actie bij afwijking

Storingen aan standaard manometers leiden vaak tot vervanging omdat de prijs van een nieuwe meter lager is dan de reparatiekosten.

Kalibreren / testen drukindicatoren

Kalibreren wordt uitgevoerd in een testopstelling zie **figuur 232**.



Figuur 232 Testopstelling voor manometers

Kalibreren

1. Sluit de te kalibreren meter aan op de testopstelling.
2. De precisie controlemeter dient minimaal één klasse nauwkeuriger te zijn dan de te kalibreren meter. Dit kan ook een gecalibreerde transmitter zijn waarbij de waarde digitaal uitgelezen wordt.
3. Nulpuntcontrole: druk op de controlemeter instellen op de beginwaarde (0%) van de te controleren meter. Zonodig het nulpunt van de te controleren meter afstellen.
4. Spaninstelling: de druk op de te controleren meter instellen op 100%. Afwijking aflezen op de precisie controlemeter. Zonodig de spaninstelling verstellen.
5. Punten 3 en 4 net zolang herhalen totdat op beide punten de afwijking van de te controleren meter binnen de nauwkeurigheidsgrens ligt.
6. Controleren van de afwijking op de tusseliggende punten bijvoorbeeld 20, 40, 60 en 80%. Zonodig de lineairiteitsinstelling verstellen.
7. Punten 3 t/m 6 herhalen totdat op alle punten de afwijking van de te controleren meter binnen de nauwkeurigheidsgrens ligt.

n.b. bij het kalibreren van absolute- en onderdrukmanometers wordt het reduceertoestel vervangen door een vacuüminstallatie.

Transmitters Inleiding

Transmitters worden elektrisch gekoppeld aan regelaars, indicators of recorders. Van druktransmitters is het volgende van belang:

- natuurkundige meetprincipes
- uitvoeringsvormen
- toepassingen
- storingen en onderhoud
- aansluiten en kalibreren

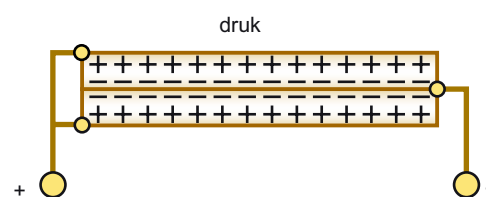
Meetprincipes

Een transmitter zal een mechanische beweging van of een uitgeoefende kracht op het meetelement moeten omvormen naar een elektrisch signaal. Hiervoor bestaan verschillende methodes zoals bijvoorbeeld:

- piëzo-element
- rekstrookje
- capacitief

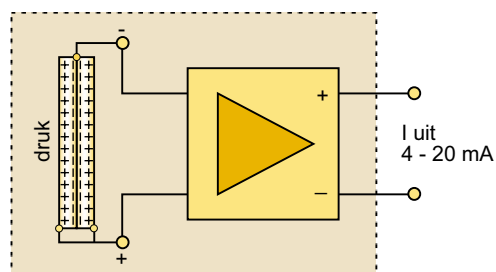
Deze meetelementen zitten in verschillende transmitters. Afhankelijk van de fabrikant, de belasting, wisselbelasting wordt voor een bepaald meetelement gekozen.

Piëzo-meetelement



Figuur 233 Piëzo-meetelement

Bij de piëzo-elektrische meetmethode maakt men gebruik van de eigenschap, dat bepaalde niet geleidende kristallen een elektrisch potentiaalverschil geven, zodra er in een bepaalde richting druk op staat. Zie **figuur 233**.



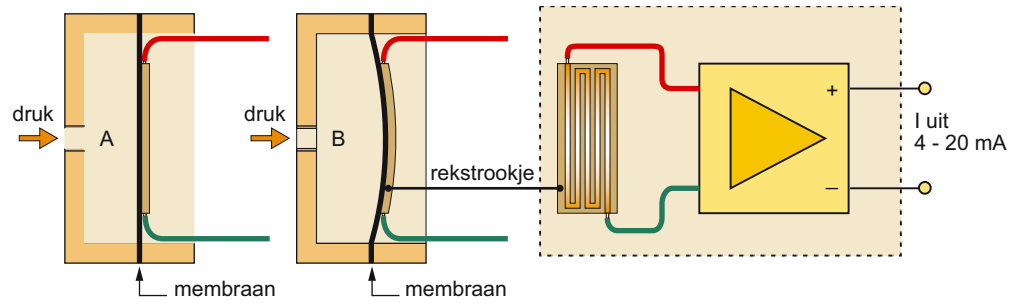
Figuur 234 Omzetting signaal

Een elektronische omvormer meet de spanning van het meetelement en zet deze om in een evenredig uitgangssignaal van 4 tot 20 mA. Dit signaal wordt dan naar een regelaar gezonden die de gemeten grootte regelt. Zie **figuur 234**. Wanneer de meetwaarde ook bij het meetpunt moet worden afgelezen, wordt de transmitter uitgerust met een indicator.

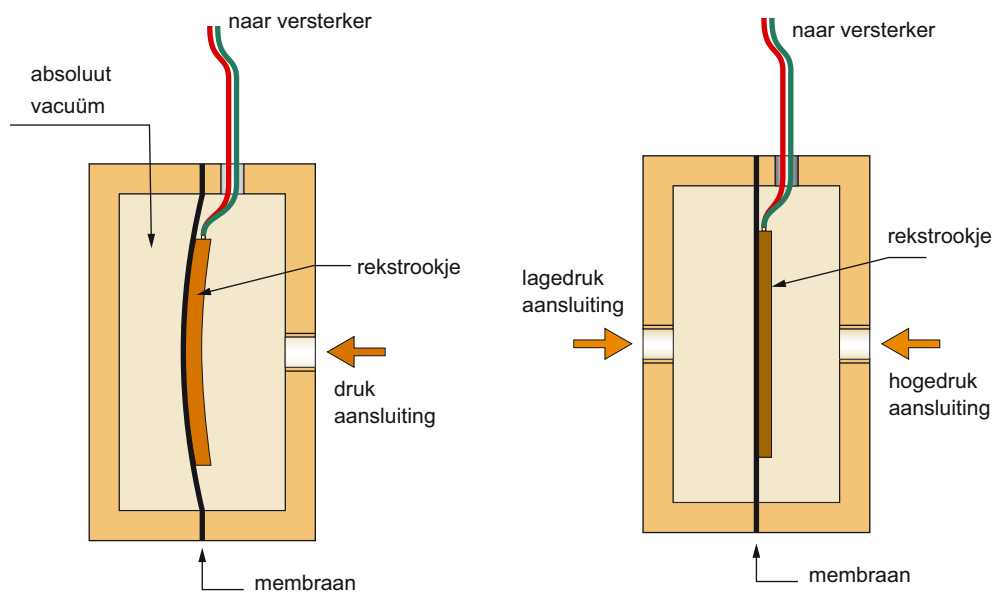
Rekstrookje

Het rekstrookje (zie **figuur 235**) heeft in de situatie A een bepaalde weerstand.

Door de druk op het membraan wordt deze vervormd waardoor in situatie B de lengte van de weerstanddraad toeneemt en daardoor de weerstand groter wordt. De weerstandsverandering wordt door de meetversterker gemeten en omgevoerd tot een uitgangssignaal van 4 – 20 mA.



Figuur 235 Elektronische druktransmitter met rekstrookje als meetelement

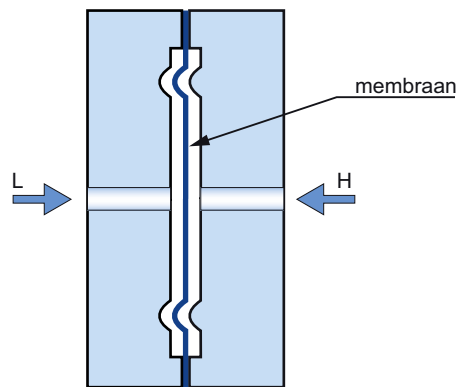


Figuur 236 Absolute druk meetelement

Figuur 237 Principe drukverschiltransmitter

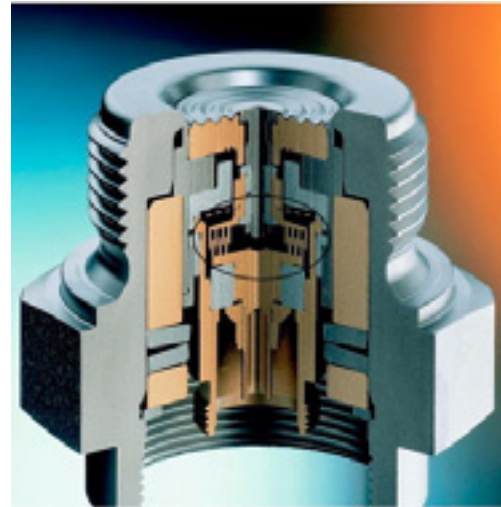
Met het principe van een rekstrookje kunnen absolute drukken, relatieve drukken en drukverschillen worden gemeten. (**figuur 236** en **237**)

Membranen kunnen ook zeer hoge, eenzijdige overbelastingen weerstaan. Dit zowel aan de hoge- als aan de lagedrukszijde. Het membraan komt bij overbelasting over de volle oppervlakte tegen het voorgevormde transmitterhuis te liggen. Het membraan kan dan niet makkelijk scheuren. De membranen zijn van metaal en maken een maximale uitslag van slechts enkele millimeters. Zie **figuur 238**.



Figuur 238 Principe membraanblok

Capacitieve meetcel



Figuur 239 Capacitieve meetmethode

Bij een capacitieve meting berust het meet-principe op een condensatorcapaciteit. Deze capaciteit is onder andere afhankelijk van het oppervlak van de condensatorplaten die tegenover elkaar geplaatst zijn.

Bij het type opnemer dat u in **figuur 239** ziet, bestaat de condensator uit meerdere cilindrische oppervlaktes die langs elkaar kunnen schuiven. Bij hogere of lagere druk zal hierdoor het condensator oppervlak toe- of afnemen.

De condensatorplaten zijn bij dit meetelement voorzien van een opgedampte goudlaag.



Figuur 240

Druktransmitter



Figuur 241 Druktransmitter met piëzo-element

- Procesaansluiting G ¼" - G 1½"
- Toepassingsgebied – 1 tot 600 bar
- Geschikt voor het meten van over-, onder- en absolute druk
- Werktemperatuur maximaal 100 °C
- Kleine opnemer/uitvoering

Aansluiting

Overeenkomstig de manometeraansluiting, direct op de leiding of via een afsluiter.



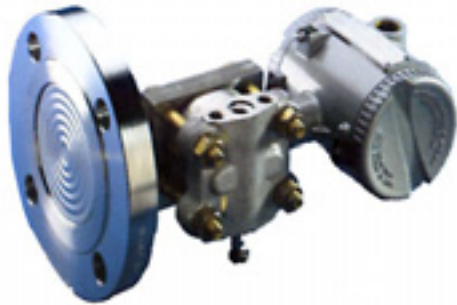
Figuur 243 Druktransmitter capacitief



Figuur 242 Druktransmitter met rekstrookje, lokale uitlezing

Druktransmitter met scheidingsmembraan

Hier is net als bij de membraanmanometer een scheiding tussen het meetelement en het medium.



Figuur 244 Elektronische transmitter met flensaansluiting

- Meten van agressief/ corrosief/viskeus medium
- Maximale werktemperatuur 400 °C
- Meet zowel over-als onderdruk

Werking

Bij de transmitter met flensaansluiting wordt op dezelfde wijze als bij de membraanmanometer een vloeistofkoppeling gemaakt tussen het scheidingsmembraan en het meetelement. Het omzetten van een druk naar een elektrisch signaal kan met behulp van een rekstrook, capacitief of met een piëzo-element.

Aansluiting

De transmitter wordt op dezelfde wijze als de manometer met flensaansluiting op het proces aangesloten. Zie **figuur 225**.

Transmitters kunnen ook scheidingsmembranen (seals) hebben op enige afstand van het meetelement en meetversterker. Ze zijn dan middels een capillaire leiding met elkaar verbonden zie **figuur 245**. Hierdoor is meten op moeilijk bereikbare, warme of gevaarlijke plaatsen mogelijk.



Figuur 245 Membraan met capillair

Opgaven

314. Wat is het voordeel van het meten van een druk via een scheidingsmembraan?
315. Wat is het nadeel van een te lang capillair?



Figuur 246 Manometer met capillaire aansluiting

Drukverschiltransmitter

Een drukverschiltransmitter is in principe hetzelfde als een druktransmitter. In dit geval worden twee procesdrukken ten opzichte van elkaar gemeten. Zie **figuur 231** en **237**.



Figuur 247 Drukverschiltransmitter

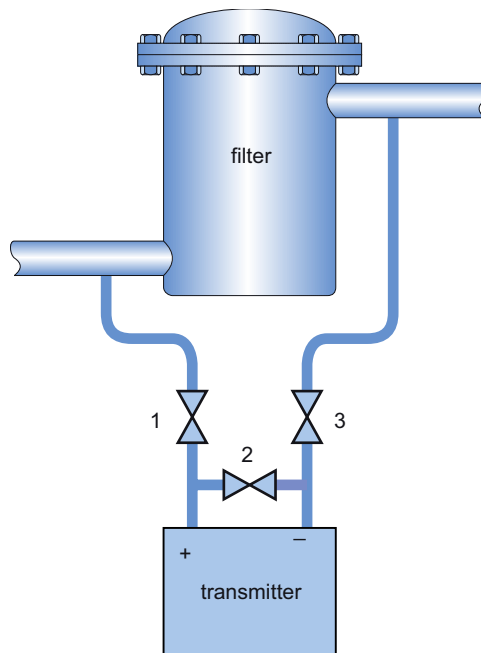
- Twee meetkamers aangesloten op proces
- Meting voor gassen en vloeistoffen
- Toepassingsgebied 0 tot 100 bar
- Uitgangssignaal 4 tot 20 mA

Werking

Meestal zijn de drukverschiltransmitters zodanig geconstrueerd, dat deze bestand zijn tegen zeer hoge statische drukken (300 bar) in verhouding tot het meetgebied. Dit is vaak ook nodig, denk bijvoorbeeld aan het meten van het drukverschil over een meetflens (0 – 100 mbar) in een stoomleiding van 150 bar.

Aansluiting

De drukverschiltransmitter wordt meestal met drie afsluiters op het proces aangesloten. Zie **figuur 248**.



Figuur 248 Meetopstelling

afkoppelen		in bedrijf stellen	
volgorde kranen	stand	volgorde kranen	stand
1	dicht	1	open
2	open	2	dicht
3	dicht	3	open

Figuur 249

Indien men afsluiters 1 en 3 sluit en 2 opent, is het drukverschil tussen + en – gelijk aan 0 bar en zal het uitgangssignaal minimaal moeten zijn, bijvoorbeeld 0 of 4 mA. Bij het afkoppelen en in bedrijf stellen is het handig om consequent dezelfde volgorde te hanteren (zie **figuur 249**).

De hoge- en lagedrukaansluiting zijn vaak gemerkt met een H en L of met een + en -. Ook kan men met een drukverschiltransmitter overdruk meten en wel door de lagedrukaansluiting (L) niet op het proces aan te sluiten maar in open verbinding met de atmosfeer te laten. Men meet dus de procesdruk ten opzichte van de atmosferische druk, ofwel overdruk.

Absolute druktransmitter



Figuur 250 Absolute druktransmitter

Opgave

316. In wat voor soort proces is het belangrijk om een absolute drukmeting te doen?

Werking

Indien een absolute druk gemeten moet worden, moet dit ten opzichte van de absolute nuldruk gebeuren. Hiertoe is één van de meetkamers absoluut vacuüm gemaakt. Op de hoge drukaansluiting wordt de procesdruk aangesloten. Zie **figuur 236**.

Een absolute drukmeting kan zijn uitgevoerd met behulp van bijvoorbeeld een rekstrook, piëzo-element of een capacitief meetelement.

Aansluiting

Afhankelijk van de uitvoeringsvorm aan te sluiten overeenkomstig de eerder genoemde transmitters.

Storingen en onderhoud druk-transmitters **Opgaven**

317. Schrijf in de onderstaande tabel welke acties genomen moeten worden bij een bepaalde storing.

Storing	Acties

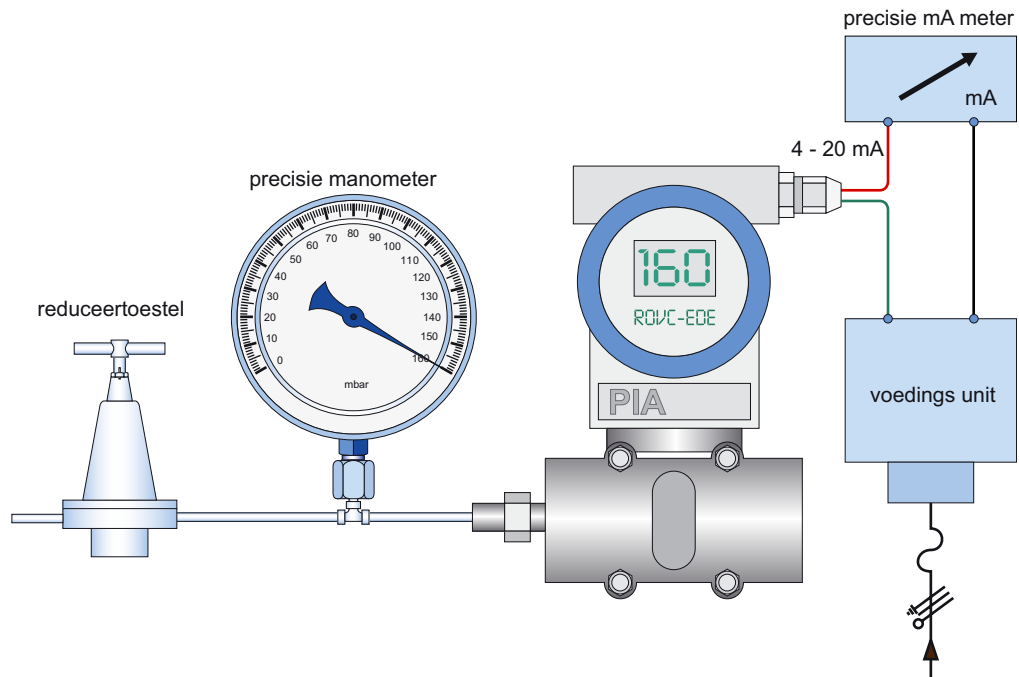
318. Vul in de onderstaande tabel de inspectie- en onderhoudspunten aan en wat de acties bij afwijking kunnen zijn.

Inspectiepunten	Norm	Actie bij afwijking

Onderhoudspunten	Toelichting

Kalibreren / testen druktransmitters

Kalibreren wordt uitgevoerd in een testopstelling zie **figuur 251**.



Figuur 251 Testopstelling voor transmitters

Kalibreren

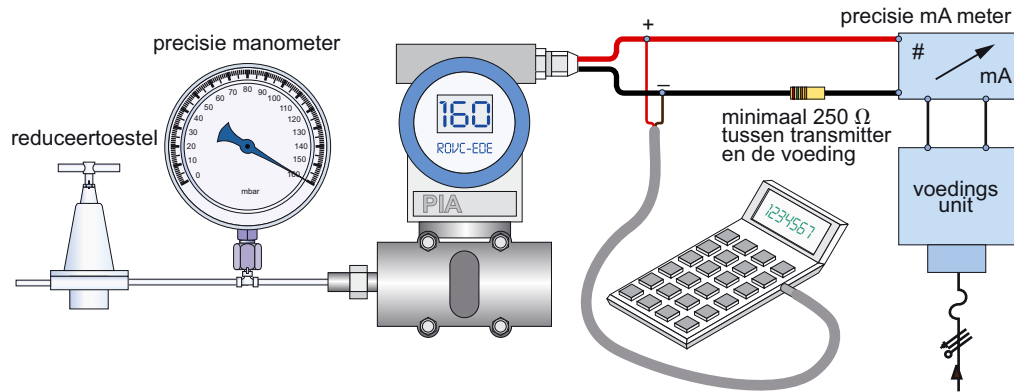
1. Sluit de te kalibreren transmitter aan op de testopstelling
2. De precisie-controlemeters dienen minimaal één klasse nauwkeuriger te zijn dan de te testen transmitter.
3. Nulpuntcontrole: druk op de controlemanometer instellen op de beginwaarde (0%) van de te controleren transmitter
4. Nulpuntinstelling van de transmitter instellen zodat het uitgangssignaal precies 4 mA op de precisie-mA meter aangeeft.
5. Span-controle: druk op de controlemanometer instellen op 100% van de te controleren meter en de afwijking aflezen op de precisie mA-meter.
6. Span-instelling van de transmitter instellen zodat het uitgangssignaal precies 20 mA op de precisie-mA meter aangeeft.
7. Punten 3 t/m 6 net zolang herhalen tot op beide punten de afwijking van de te controleren meter binnen de nauwkeurigheidsgrens ligt.

8. Controle van de afwijking op de tussenliggende punten, bijvoorbeeld 20, 40, 60 en 80%. Het uitgangssignaal is bij elektronische transmitters lineair. Bij afwijking is dit normaliter niet te corrigeren en dient de leverancier dit te doen.

n.b bij het kalibreren van absolute- en onderdruktransmitters wordt het reduceertoestel vervangen door een vacuüminstallatie.

Kalibreren intelligente transmitters

Voor het kalibreren van zogenaamde intelligente transmitters wordt dezelfde procedure gehanteerd als bij de transmitters met analoge uitgang (4 ...20 mA).



Figuur 252 Testopstelling voor intelligente transmitters

Voor het instellen van het nulpunt en de span wordt echter gebruik gemaakt van een programmeerapparaat; zie **figuur 252**.

Tevens is het met dit programmeerapparaat mogelijk controle van de signalen uit te voeren in de procesinstallatie.

In plaats van de standaard uitgangssignalen (zoals 4 – 20mA) verzenden sommige transmitters hun informatie in de vorm van digitale signalen. Voor het meten en kalibreren kan dus geen gebruik worden gemaakt van een milli-ampèremeter. Hiertoe dient men speciale digitale meet- en testapparatuur te gebruiken.

Middels een digitaal – analoog omvormer kan eventueel het signaal geschikt worden gemaakt voor controle met een precisie mA-meter.

Overigens blijft de kalibratieprocedure, zoals nulpunt en span-instelling, van dit type transmitters gelijk aan die van de andere transmitters.

“Dead Weight Test” (ook wel statische druktest of common mode test genoemd).

Drukverschilmeters en transmitters meten vaak een gering drukverschil over bijvoorbeeld een filter terwijl de procesdruk vele malen hoger is.

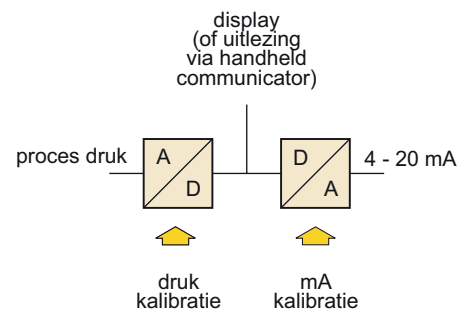
Tijdens de zogenaamde “Dead Weight test” worden de hoge- en lage drukaansluiting samen aangesloten op één test aansluiting. Daar het drukverschil nu gelijk aan nul is, zal het uitgangssignaal 0% zijn. Vervolgens wordt de druk verhoogd naar de maximale

procesdruk. Tijdens deze drukverhoging mag het uitgangssignaal niet veranderen. Indien dit wel het geval is, voldoet de meter wellicht niet aan de nauwkeurigheidsnorm. Een en ander kan het gevolg kan zijn van een verkeerde montage van het meetelement.

Voor de kalibratie van moderne transmitters is een (precisie) manometer niet geschikt. Nauwkeurigheden van 0,04% zijn mogelijk. Voor kalibratie van dit soort transmitters zijn zeer nauwkeurige kalibrators of dead weight testers noodzakelijk.

Kalibratie gebeurt ook in twee fasen:

- Kalibratie van de A/D converter.
- Kalibratie van de D/A converter.



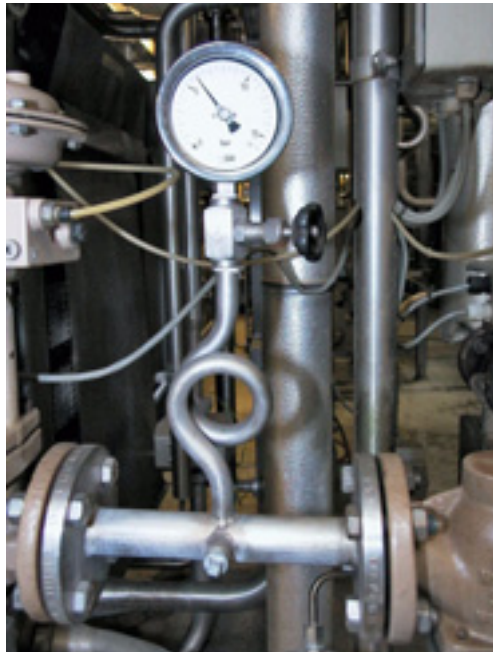
Figuur 253 Overzicht kalibratie

D/A kalibratie vervalt bij veldbus instrumenten.

Speciale toepassingen

Bescherming tegen hoge temperaturen

Bij drukmetingen aan stoomleidingen kan de temperatuur van het meetelement of de elektronica te hoog worden. Om de manometer of transmitter hier tegen te beschermen wordt een zogenaamde varkensstaart tussen het meetpunt en de meterapparatuur geplaatst.



Figuur 254 Varkensstaart

Door afkoeling van stoom in de varkensstaart zal deze zich vullen met condensaat en zo een scheiding vormen.

Contactmanometer



Figuur 255 Contactmanometer

Manometers kunnen een contactinrichting hebben. De schakelcontacten kunnen op elke schaalwaarde worden ingesteld en gebruikt worden voor hoog of laag alarm of besturingsignalen verzorgen.

Oliegevulde manometer



Figuur 256 Manometer met olievulling

Manometers kunnen worden geleverd met een olievulling. De gehele behuizing van de manometer wordt met olie gevuld. De olie heeft een dempende werking en zo wordt de meter minder gevoelig voor drukpulsen uit het proces b.v. opstelling bij een pomp.

Sanitaire aansluiting (Melkkoppeling DIN 11851)



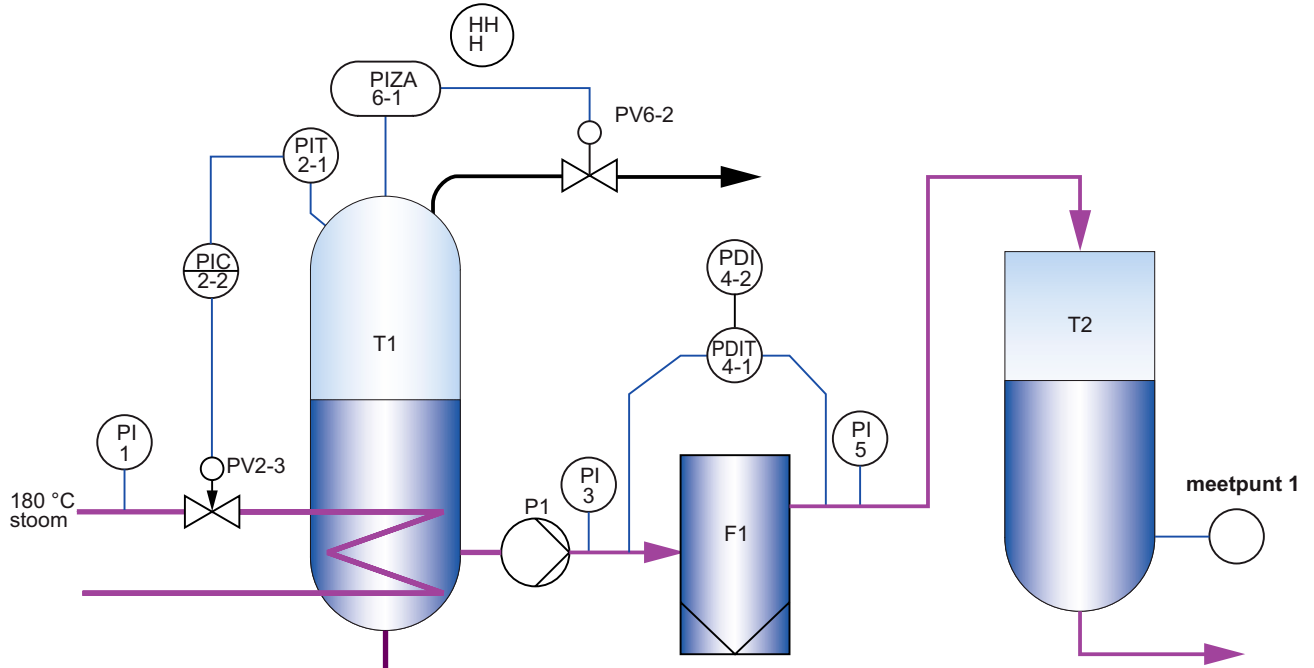
Figuur 257 Transmitter met melkaansluiting

Met name in de zuivelindustrie is een schone leiding en dus ook de meetpunten van groot belang.

Een makkelijk te demonteren aansluiting zonder dode hoeken wordt verkregen met bijvoorbeeld een melkkoppeling.

Eindopdracht druktransmitters

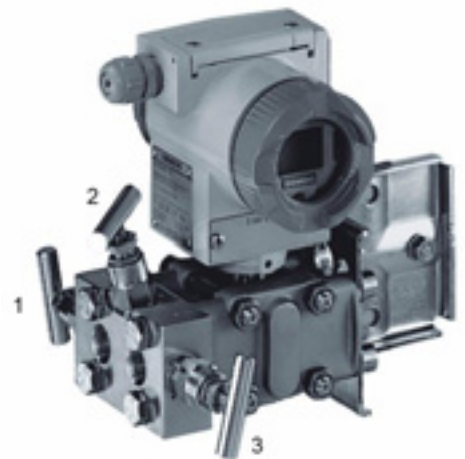
In **figuur 258** ziet u een deel van een chemisch proces. De vloeistof in tank T1 is agressief en wordt verwarmd. Door verdamping ontstaat druk. Pomp P1 zorgt voor transport naar tank T2 via filter F1.



Figuur 258 Processchema

Opgaven

319. PI-1 meet de druk in de stoomleiding. Geef aan hoe de manometer op de leiding wordt aangesloten.
320. PIT 2-1 heeft een scheidingsmembraan als aansluiting op het proces. Waarom is voor deze uitvoering gekozen?
321. Waarom is aan deze transmitter een aanwijzende functie toegevoegd?
322. Met welk doel wordt het drukverschil over filter F1 gemeten?
323. Het drukverschil over filter F1 kan worden afgelezen op PDIT 4-1 en door het verschil tussen PI 3 en PI 5. Welke meting is het nauwkeurigst?
324. De drukverschilmeter is op het proces aangesloten via een driekranenblok. Zie **figuur 259**.



Figuur 259 Aansluiting PDIT 4-1 met driekranenblok

Het meetbereik van PDIT 4-1 is 0 tot 1 bar en de meter geeft 0,5 bar aan. PI 3 wijst een druk aan van 5 bar. Geef aan hoe u de dP-meter zonder overbelasting kunt afkoppelen van het proces.

- 325.** Waarom moet PDIT 4 altijd met de + aansluiting op de hoogste druk worden aangesloten?
- 326.** Op meetpunt 1 in **figuur 258** wordt de druk gemeten die de vloeistofkolom uitoefent. Geef in **figuur 258** aan welke codering er in het symbool bij meetpunt 1 moet staan.
- 327.** De meter uit bovenstaande opgave is een membraanmanometer waarbij het scheidingsmembraan via een capillaire leiding verbonden is met de indicator. De indicator is drie meter lager opgesteld. Op de testbank is de meter afgesteld op een meetbereik van 0 tot 0,3 bar. Na montage geeft de meter een foute aanwijzing. Wat is daarvan de oorzaak en hoe kunt u dit corrigeren?
- 328.** Wat is de functie van PIZA-6?
- 329.** Wat moet in dit geval de werkingsrichting zijn van de afsluiter PV 6-2?
- 330.** Meet de PIZA 6-1 overdruk, onderdruk of absolute druk?
- 331.** Voor het meten van de atmosferische druk wordt een barometer toegepast. Beschrijf de werking.
- 332.** Op een werktekening wordt een opnemer voorgeschreven met een range van 0,2 tot 12 bar. Het magazijn heeft de opnemers a tot en met d. Welke opnemer kiest u?
- a. 200 – 1200 kPa
 - b. 0,2 – 12 mwk
 - c. 20 – 1200 kPa
 - d. 0 – 12 bar

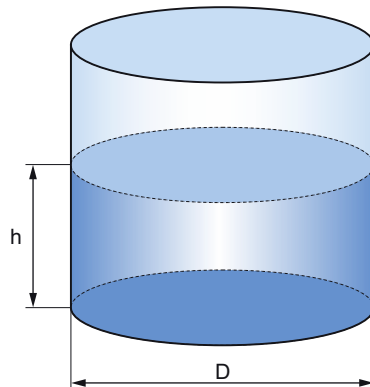
Hoofdstuk 10 Niveautransmitters

Inleiding Bij niveaumetingen wordt de keuze van de meest geschikte apparatuur voor een belangrijk deel bepaald door de eigenschappen van het te meten medium en de omgeving van het proces. In dit hoofdstuk komen aan de orde:

- Niveau-indicators
- Toepassingen van diverse niveautransmitters
- Meetprincipes
- Kalibreren en testen
- Storingen en onderhoud

Niveau en voorraad

Niveaumetingen in de procesindustrie dienen veelal ter controle van de voorraad grondstoffen, halffabrikaten en eindproducten in de vloeistofvorm of vaste (bulk) stoffen. Meestal wordt dan het niveau gemeten en aan de hand daarvan de hoeveelheid medium.



Figuur 260 Verticaal cilindrisch vat (tank)

Onder het niveau van een stof in een tank of silo verstaan we de hoogte, gemeten vanaf de bodem. In een aantal gevallen wordt ook wel gesproken over het peil (als waterstand in de rivier of het peil in drum van een stoomketel).

De eenheid, waarin we het niveau aangeven, is de meter. Vaak wil men weten hoeveel medium er nog is. Dan wordt door berekening of ijking een aanwijzing gerealiseerd in een volume (m^3) of massa (kg). Zie **figuur 260**.

Indicators en transmitters

Om niveaus in het proces zichtbaar te maken worden ter plekke indicators geplaatst waar het niveau en eventueel omgerekend de voorraden direct zijn waar te nemen. Transmitters worden geplaatst om op afstand een signaal te sturen naar regelaars of indicators.

De omgevingscondities in het proces en de eigenschappen van het te meten product (zoals dampvorming, stofvorming, vervuiling, viscositeit, agressiviteit en soortelijke massa) bepalen het meetprincipe en de uitvoering die het meest geschikt zijn voor de indicator of transmitter.



Figuur 261 Niveautransmitter met radarsensor (bron: B.V. VEGA meet- en regeltechniek)



Figuur 262 Tank met niveautransmitter



Figuur 263 Niveautransmitter met capacitieve opnemer (bron: B.V. VEGA meet- en regeltechniek)



Figuur 264 Ultrasonore niveautransmitter (bron: B.V. VEGA meet- en regeltechniek)

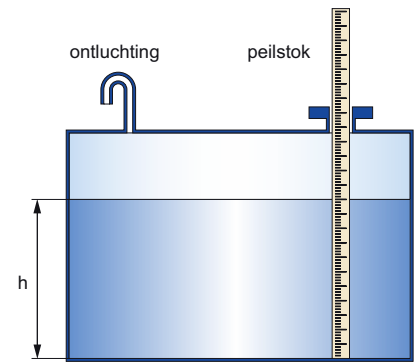
Indicators Peilstok



Figuur 265 Niveaumeting met peilstok

- Eenvoudige goedkope meting
- In open vaten
- Toepassingsgebied: hoogte van tanks
- Meting niet agressieve en giftige vloeistoffen

Werking



Figuur 266 Niveaumeting met peilstok

De peilstok met schaalverdeling wordt van bovenaf loodrecht in de tank gestoken tot op de bodem. De overgang nat–droog geeft het niveau aan. Een nadeel is dat het geen continue meetwaarde oplevert. Voor controlemetingen hebben sommige peilstokken een minimum en maximum aanduiding. Bijvoorbeeld zoals bij de oliepeil controle van de motor/ versnellingsbak van een auto.

Aansluiten

De peilstok wordt door een afsluitbare opening boven in de tank gestoken. In sommige gevallen blijft de peilstok in de vloeistof staan en wordt deze alleen tijdens het aflezen opgehaald.

Peilglas

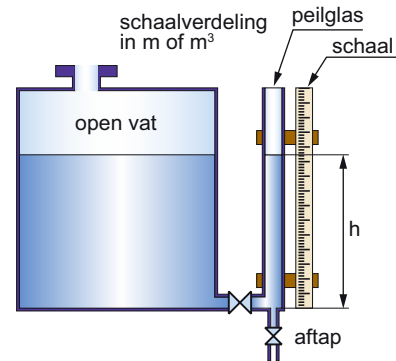


Figuur 267 Peilglas

- Toepassing in zowel open als gesloten tanks
- Toepassingsgebied: hoogte van de tank
- Meting van schone vloeistoffen
- Directe en indirecte meting

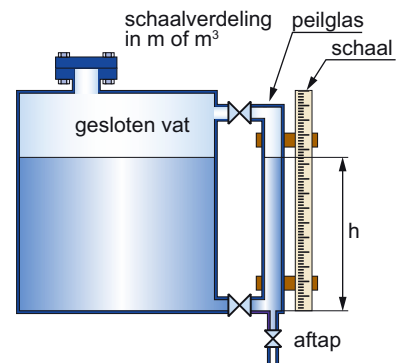
Werking

De werking van een peilglas berust op het principe van de communicerende vaten. Een open peilglas heeft slechts één verbinding met de onderkant van de tank. Zie **figuur 268**.



Figuur 268 Niveaumeting met peilglas voor een open tank

Bij een gesloten tank dient het peilglas tevens een aansluiting te hebben aan de bovenkant van de tank, omdat er een afwijkende druk kan ontstaan ten opzichte van de buitenlucht. Zie **figuur 269**.



Figuur 269 Niveaumeting met peilglas voor een gesloten tank

Voor peilglazen van hoge-drukvaten gelden speciale montagevoorschriften. Ook de uitvoering moet aan bijzondere eisen voldoen, zoals aan de Europese richtlijn drukapparatuur. Peilglazen voor deze toepassing hebben een verzwaarde constructie. Zie **figuur 270**.



Figuur 270 Peilglas voor hoge druk

Aansluiten

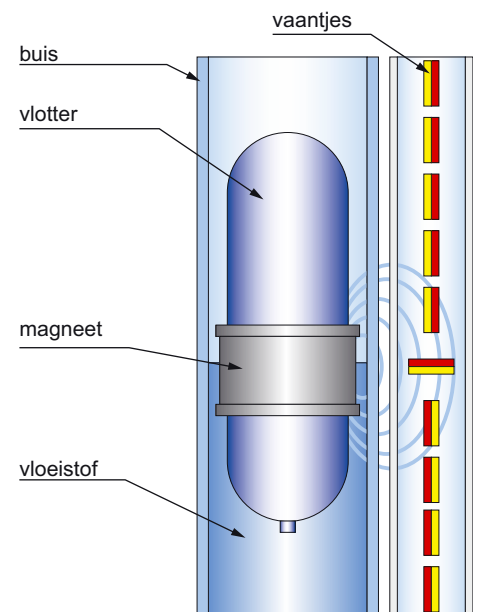
Peilglazen worden via afsluiters aan de tank aangesloten teneinde ze te kunnen afsluiten bij calamiteiten of onderhouds- en schoonmaakwerkzaamheden. Hiertoe is tevens een aftap afsluiter aangebracht. Ondanks de naam (peilglas) worden naast glas ook transparante kunststof buizen toegepast.

Peilglas als indirecte meting



Figuur 271 indirect werkend peilglas

Peilglazen hebben als nadeel dat ze kwetsbaar zijn. Als een peilglas breekt, kunnen er gevaarlijke stoffen vrijkomen of brand ontstaan. Een goede mechanische bescherming is noodzakelijk. Door gebruik te maken van indirect werkende peilglazen, kan de veiligheid verbeterd worden. De vloeistof komt in een gesloten metalen meetbuis waarin een vlotter drijft. Via magnetische overbrenging wordt een display aangestuurd waarbij tevens, middels het omklappen van vaantjes, een duidelijke aflezing ontstaat, zie **figuur 271** en **figuur 272**.



Figuur 272 Indirect werkend peilglas

Storings en onderhoud niveau-indicators

Opgaven

333. Stel in het vat in **figuur 260** is de hoogte $h = 25$ cm en de diameter $D = 40$ cm. De soortelijke massa (ρ) van de vloeistof is 1000 kg/m^3 . Hoeveel kg vloeistof is nog aanwezig?

334. Wanneer de hoogte wordt afgelezen op 26 cm in plaats van 25 cm. Hoeveel kg vloeistof lijkt er dan aanwezig te zijn?

335. Wat zijn de gevolgen als een vlotter vast zit?

336. Vul in **figuur 273** de diverse inspectiepunten van verschillende niveau-indicators in.

Inspectiepunten	Norm	Actie bij afwijking

Figuur 273

Kalibreren / testen

Kalibreren van niveau-indicators wordt meestal bij de eerste montage gedaan terwijl daarna wordt volstaan met een controle op de juiste werking van de apparatuur

Kalibreren

De meter wordt op de tank geplaatst. Indien alleen de hoogte van de vloeistof in de tank belangrijk is, kan worden volstaan met het aanbrengen van een schaal welke door meten of berekenen wordt verkregen. Als de inhoud van de tank moet worden aangewezen of het aantal kg van de voorraad zal er gekalibreerd moeten worden.

- De tank wordt in stappen gevuld met een bekende hoeveelheid vloeistof.
- Per stap wordt op de schaal aangegeven hoeveel liters of m^3 er op dat moment inzit. Indien de schaal is voorzien van een cm-schaal, kan ook op een ijkstaat de bijbehorende inhoud worden geregistreerd.
- Het aantal stappen tijdens het vullen van 0 tot 100% vulling bepaalt hoe nauwkeurig er kan worden afgelezen.
- Afhankelijk van de vorm van de tank zal de schaalverdeling al dan niet lineair zijn.

Transmitters

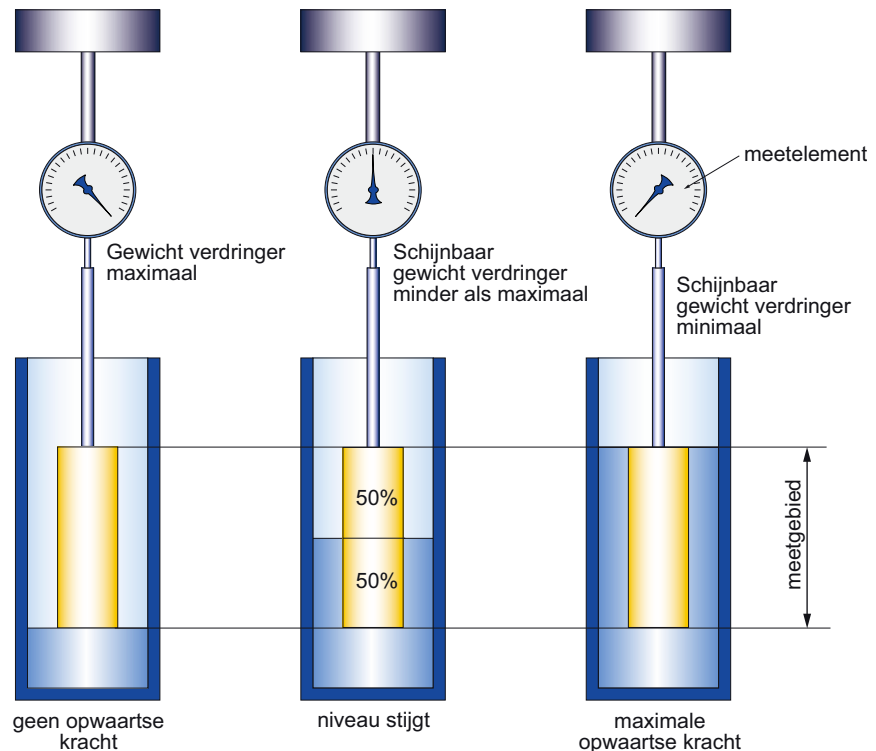
De eigenschappen van het te meten product bepalen meestal welk meetprincipe, met de specifieke uitvoering gebruikt wordt.

Er zijn verschillende meetmethoden:

- met behulp van een verdringer
- met vlotter
- op basis van een drukmeting of drukverschilmeting
- capacitief
- ultrasonoor/radar

Transmitter met verdringer

- Meting van vloeistoffen met een constante soortelijke massa
- Toepassingsgebied: hoogte van de tank
- Geschikt voor meting in vervuilde en agressieve vloeistoffen
- Toepasbaar bij hoge temperaturen (500 °C) en hoge drukken 250 bar



Figuur 274 Verdringerlichaam

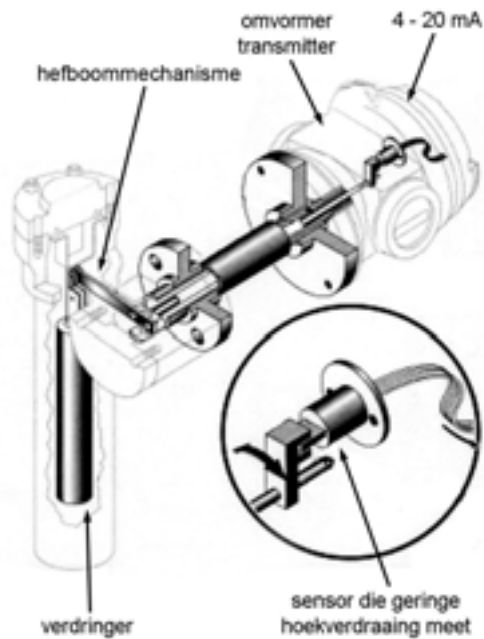
Werking

Lichte voorwerpen blijven drijven op een vloeistof, terwijl zware voorwerpen zinken.

Alle voorwerpen ondervinden, volgens de stelling van Archimedes, een opwaartse kracht welke gelijk is aan het gewicht van de door het voorwerp verplaatste vloeistof. Is de opwaartse kracht groter dan het gewicht van het voorwerp, dan zal dit drijven (dobber, bal, schip). Is echter de opwaartse kracht kleiner dan het gewicht van het voorwerp, dan zal dit zinken (metalen staaf, fiets, lek schip).

Van dit verschijnsel wordt gebruik gemaakt bij niveaumetingen met een verdringerlichaam. Een metalen verdringerlichaam zal onder bedrijfs- omstandigheden met een stijgend niveau in de tank in de vloeistof onderdempelen. Zie **figuur 274**.

Een steeds groter deel van de verdringer is in de vloeistof ondergedompeld en verdringt een steeds groter volume aan vloeistof. Hierdoor wordt de opwaartse kracht steeds groter. Het resultaat is dat het gewicht van de verdringer lijkt af te nemen. Deze schijnbare gewichtsverandering wordt door een sensor in het meetelement omgezet in een signaal. De schijnbare gewichtsverandering en het signaal hebben een directe relatie rond het niveau.



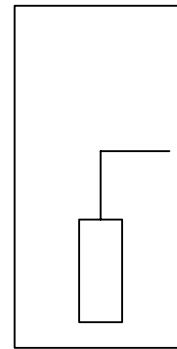
Figuur 275 Niveautransmitter met verdringerlichaam

De schijnbare gewichtsverandering wordt via een hefboommechanisme en een torsibuis omgezet in een (draai)beweging. Deze (draai)beweging kan vervolgens met een sensor (capacitief of anders) worden omgezet in een signaal. Met de nodige electronica wordt dit weer omgezet tot een standaard meet- en regelsignaal. Zie **figuur 275**.

Het nulpunt en de span zijn in de transmitter instelbaar terwijl het maximaal instelbare meetgebied wordt bepaald door de lengte van het verdringerlichaam. De meting is geschikt voor het meten van schone, niet klevende vloeistoffen. De soortelijke massa van de te meten vloeistof dient gelijk te blijven, immers bij verandering hiervan zal ook het gewicht van de verplaatste vloeistof veranderen en daarmee de opwaartse kracht. Bij vloeistoffen die in beweging zijn, wordt de opnemer in een beschermhuis geplaatst zodat de meting niet wordt beïnvloed. De uitvoering kan een standbuis in de tank zijn of een externe buis.

Opgaven

- 337.** Wat bepaalt het nulpunt van een verdringerlichaam?
- 338.** Wat gebeurt er met de niveauindicatie als de vloeistof verder stijgt dan de bovenkant van de verdringer?



Figuur 276 Installatie symbool verdringer

Transmitter met vlotter



Figuur 277 Transmitter met vlotter

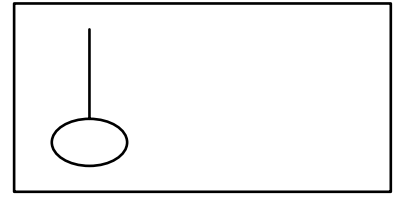
- Meten van schone en agressieve vloeistoffen
- Toepassingsgebied: hoogte van de tank
- Praktisch ongevoelig voor wisselende soortelijke massa
- Procestemperatuur maximaal 180°C
- Maximale druk 25 bar

Werking

In tegenstelling tot de meting met verdringer die in de vloeistof verdwijnt berust deze meting op een vlotter die op het medium drijft.

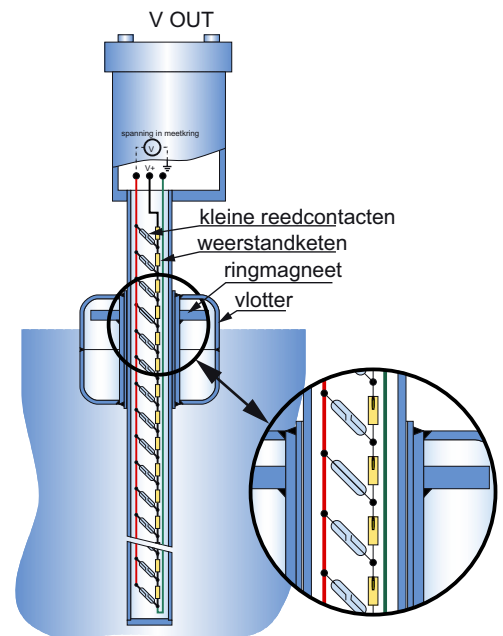
De vlotter met daarin een permanente ringmagneet beweegt met de vloeistof mee langs een geleidebuis. Als de magneet in de vlotter ter hoogte van het reedcontact komt zal het contact worden gesloten. Zie detail **figuur 279**.

In de geleidebuis bevindt zich een reeks reedcontacten. Deze zijn verbonden met een weerstandketen. Ter hoogte van het vloeistof niveau waar de vlotter/magneet zich bevindt, is steeds één schakelaar gesloten. De totale weerstand (en daarmee de spanning) in de meetkring wordt bepaald door het aantal weerstanden dat in de keten meegenomen wordt. Dit aantal is afhankelijk van de positie waar het reedcontact gesloten is en daarmee van het te meten niveau.



Figuur 278 Installatie symbool vlotter

In **figuur 277** ziet u een roestvrij stalen uitvoering die ook kan worden geleverd in PVC, Polypropyleen of PTFE (Teflon). De insteeklengte is minimaal 0,2 tot maximaal 12 meter. Per meter worden er zoveel mogelijk weerstanden gemonteerd om te grote stappen in het uitgangssignaal te voorkomen.



Figuur 279 Doorsnede geleidestang

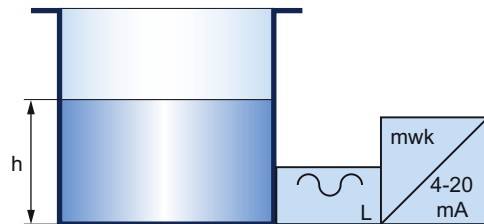
Hydrostatische niveaumeting



Figuur 280 Met druktransmitter met sanitaire procesaansluiting

- Meest toegepaste meting
- In open vaten
- Toepassingsgebied: hoogte van de tank
- Geschikt voor meting van zowel schone als vervuilde, visceuze en agressieve vloeistoffen met een constante soortelijke massa
- Procestemperatuur maximaal 250 °C

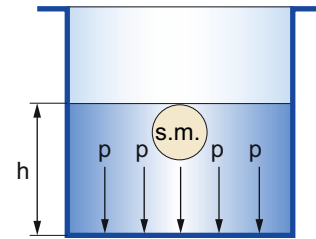
Werking



Figuur 281 Niveaumeting met druktransmitter

De meest toegepaste methode om het niveau te bepalen, is een indirecte meting en wel door de druk te meten die wordt uitgeoefend door een kolom vloeistof. Dit wordt hydrostatische meting genoemd. Zie **figuur 281**.

De gemeten druk is afhankelijk van de hoogte van de vloeistofkolom. Voor een nauwkeurige meting dient de soortelijke massa constant te zijn. Zie **figuur 282**.



Figuur 282 Meetprincipe niveau naar druk

Ook al wordt er druk gemeten, in de proces- en instrumentatietekeningen en schema's wordt de meting aangeduid als LT en niet als PT. Immers de functie is het meten van niveau.

We kunnen de druk berekenen met de volgende formule:

$$\text{In pascal: } p = h \times \text{s.m.} \times g$$

$$\text{Of in bar: } p = h \times \text{s.m.} \times g / 100000$$

h = hoogte in meters

s.m. = soortelijke massa in kg/m^3

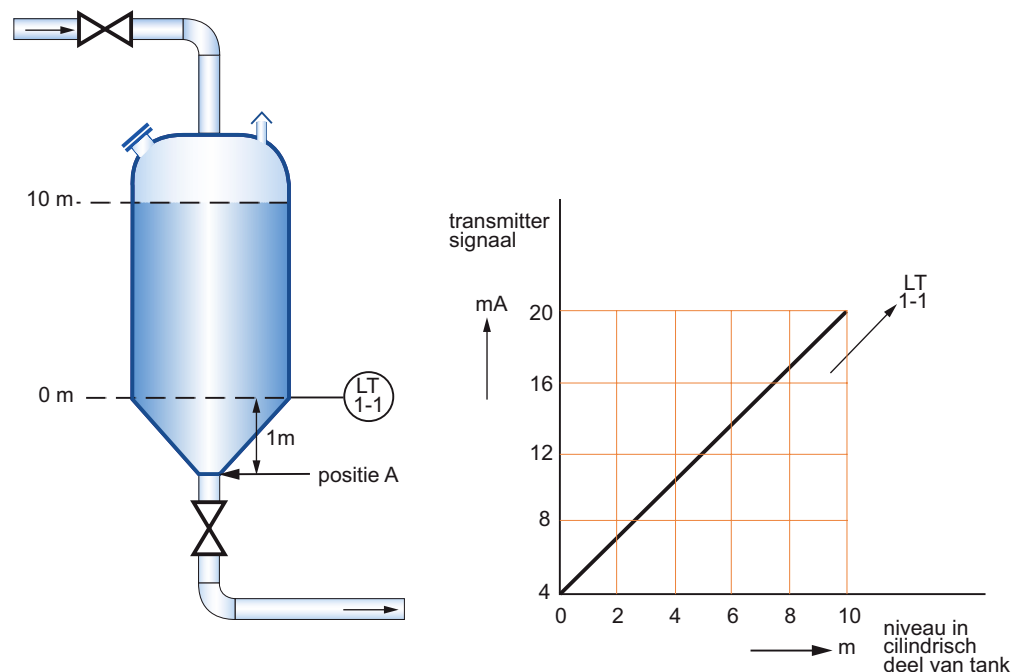
g = zwaartekracht in m/s^2 afgerond 10m/s^2

p = druk in pascal of bar

Bij open tanks kan het niveau worden gemeten met een druktransmitter. De druk die de vloeistofkolom uitoefent, wordt in de transmitter omgezet in een 4-20mA signaal. Er is nu een direct, evenredig verband tussen het niveau in de tank en het transmittersignaal. Zie **figuur 283**. Dit geldt voor de druktransmitter 1-1 in **figuur 283**. Deze transmitter meet alleen het niveau in het cilindrische deel van de tank met een kegelvormige bodem.

De niveau transmitter is precies aan de onderzijde van het cilindrische deel gemonteerd met een horizontale meetlijding. Als de transmitter echter op positie A

gemonteerd wordt dan meet deze ook de 1 meter vloeistofhoogte in de kegelvormige bodemsectie. Dit is echter niet representatief voor de cilindrische inhoud. Het nulpunt signaal (4 mA, tank is leeg) kan dan worden verlegd naar 1 meter vloeistofhoogte, daar waar het cilindrische deel begint. Als de span is ingesteld op 10 meter hoeft deze niet te worden aangepast. Als de span was ingesteld op 11 meter, uitgaande van de onderzijde van de kegelvormige bodem tot aan de maximale vulhoogte, dan moet deze worden aangepast op 10 meter.



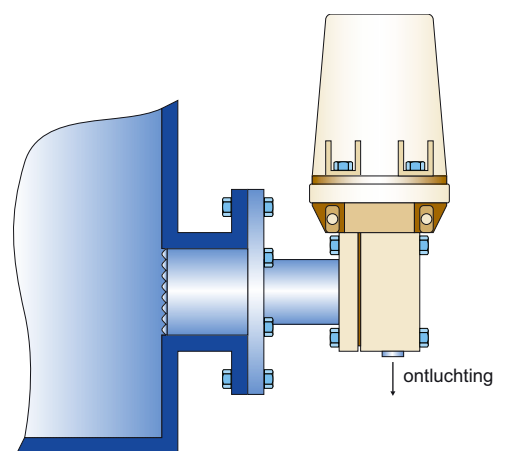
Figuur 283

Aansluiting

Bij schone vloeistoffen kan de transmitter via een afsluiter worden aangesloten op een tank. Bij gevaar voor verstopping, vervuilde- of visceuze vloeistoffen wordt gekozen voor een uitvoering met een scheidingsmembraan. Bij een transmitter met extension is het membraan als het ware uitgebouwd en gemonteerd op een zogenaamde extension. Het membraan komt nu gelijk te liggen met de binnenkant van de tank. Zie **figuur 284**.

Opgaven

339. Wat is het voordeel van de extension?



Figuur 284 Extension

Drukverschil transmitter als niveaumeting

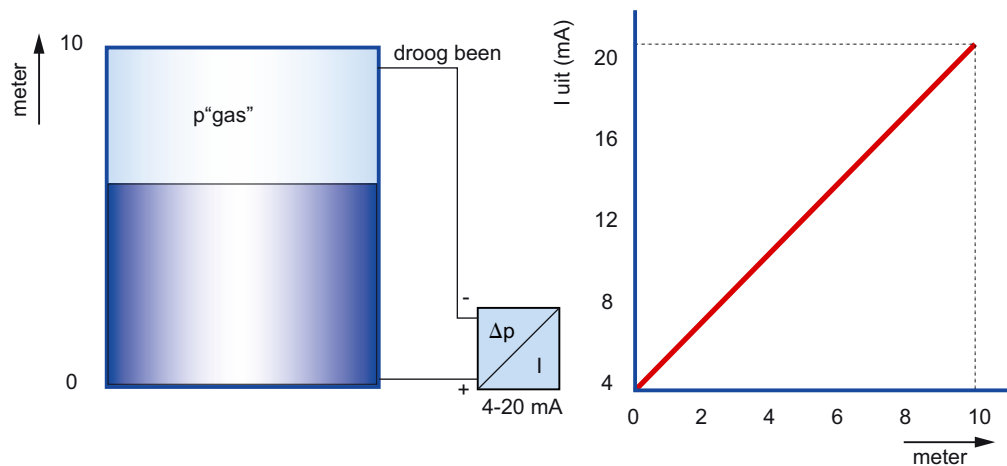
- Twee meetkamers aangesloten op proces
- Meting voor vloeistoffen met over- of onderdruk
- Toepassingsgebied tankhoogte
- Maximale statische druk 420 bar
- Maximale temperatuur 350 °



Werking

De drukverschiltransmitter wordt als niveaumeting ingezet bij metingen in gesloten tanks. Door de druk boven de vloeistof zal immers een extra druk op het meetelement worden uitgeoefend waardoor niet meer het juiste niveau kan worden bepaald. Door de druk boven in de tank aan te sluiten op de drukverschiltransmitter wordt deze druk gecompenseerd. Zie **figuur 286**.

Figuur 285 Niveaumeting met drukverschiltransmitter



Figuur 286 Niveaumeting in een tank met overdruk

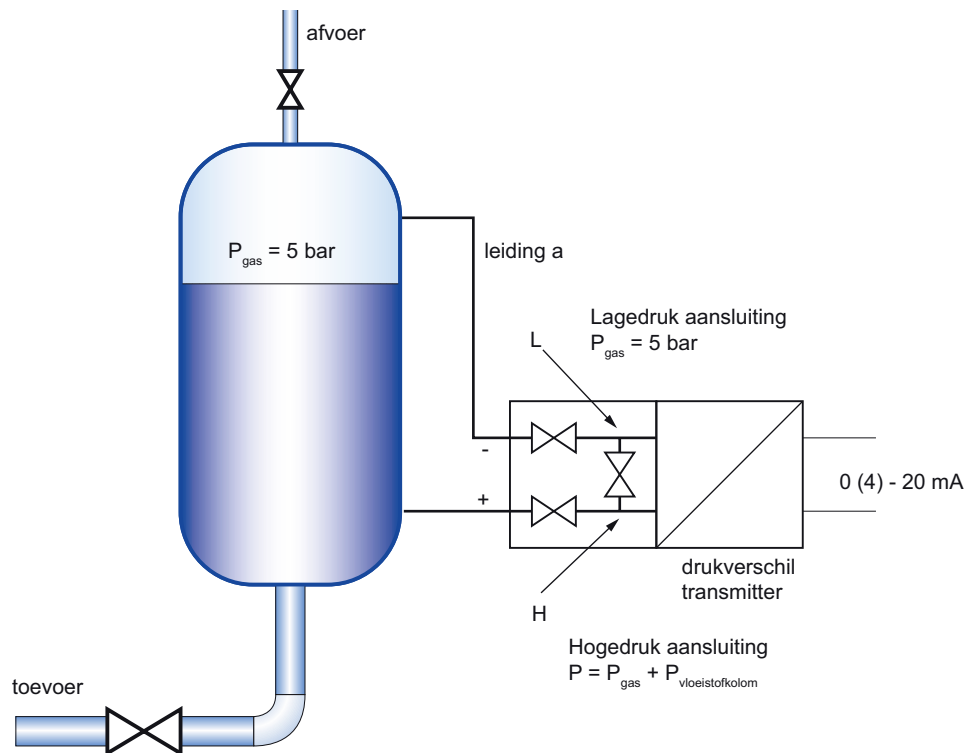
Op de "+" aansluiting staat de druk van p "vloeistofkolom" + p "gas" en op de "-" aansluiting de druk van p "gas". De drukverschiltransmitter meet het verschil:

$$\Delta p = (p \text{ "vloeistofkolom"} + p \text{ "gas"}) - p \text{ "gas"} = p \text{ "vloeistofkolom"}$$

Hiermee is dus voor p "gas" gecompenseerd. Wat betreft de afstelling van het meetbereik en eventuele nulpuntsverschuiving komt deze meting volledig overeen met die van de druktransmitter zoals aangegeven in **figuur 285**.

Aansluiting

De drukverschiltransmitter wordt via een drie-kranenblok aangesloten op het proces. Zie **figuur 287**.



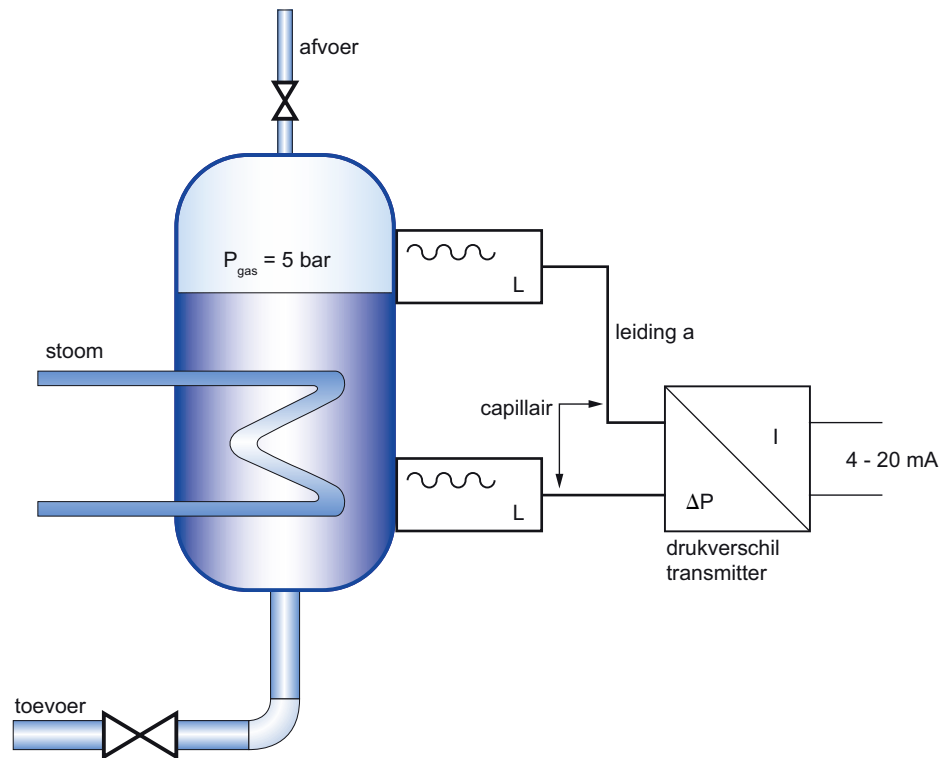
Figuur 287 Aansluiting drukverschiltransmitter op gesloten vat met droge meetleiding a

Bij deze opstelling kunnen problemen ontstaan. Voorwaarde voor een juiste meting is dat de meetleiding a alleen gevuld is met gas. Als de temperatuur in de tank hoger is dan in meetleiding a, kan hierin condensatie optreden en de leiding geheel of gedeeltelijk worden gevuld met vloeistof. Het gevolg daarvan is een miswijzing. In verreweg de meeste toepassingen bij gesloten vaten vormt dit een probleem. Daarom wordt de aansluiting uitgevoerd met scheidingsmembraan. Zie **figuur 288**.

In plaats van de meetleidingen wordt de transmitter via capillaire leidingen en een scheidingsmembraan aangesloten op het proces. Zie **figuur 289**. Bij het ijken van de transmitter dient men rekening te houden met het hoogteverschil tussen de scheidingsmembranen en de soortelijke massa van de vulvloeistof van de capillaire leidingen.



Figuur 288 Niveautransmitter met capillairen en scheidingsmembranen (bron: Endress+Hauser B.V.)



Figuur 289 Aansluiting drukverschiltransmitter op gesloten vat met scheidingsmembranen en capillaire meetleidingen

Capacitieve niveautransmitter

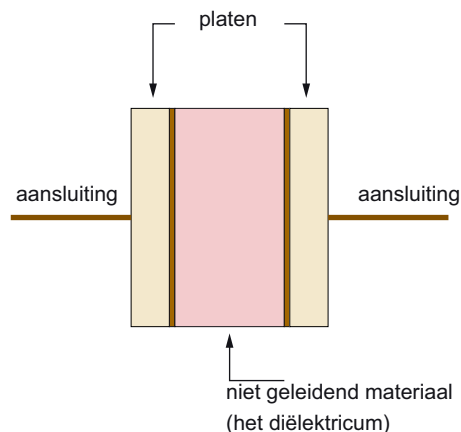


Figuur 290 Capacitieve niveaumeting (bron: B.V. VEGA meet- en regeltechniek)

- Meet-elektrode in diverse uitvoeringsvormen
- Meting voor vloeistoffen, poeders en stortgoed
- Toepassingsgebied: tankhoogte
- Toepasbaar bij hoge-temperaturen tot 400°C en drukken tot 400 bar
- Toepasbaar in zeer agressieve producten

De werking

De capacitieve niveautransmitter is in principe een meter die de capaciteit van een condensator kan meten.

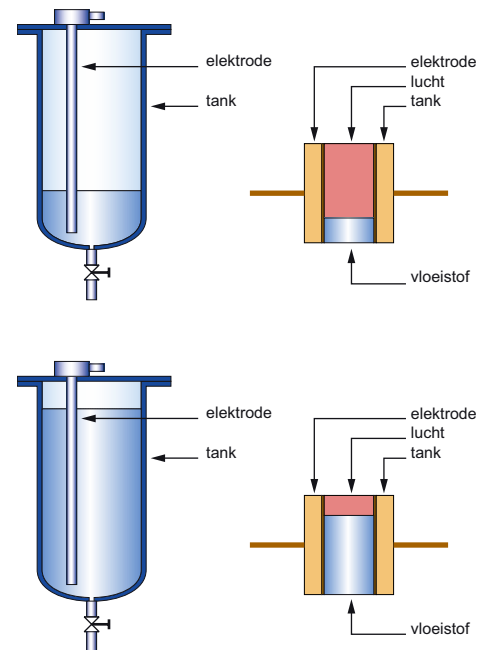


Figuur 291 Condensator

De capaciteit van een condensator is afhankelijk van:

- de afmeting van de platen
- de onderlinge afstand tussen de platen
- de elektrische eigenschap (diëlektrische constante) van het soort stof (diëlektricum) tussen de platen

De opnemer van de capacitieve transmitter werkt volgens het principe van een condensator. De platen worden gevormd door een opnemer-elektrode en de stalen tankwand. Doordat deze een vaste afmeting en onderlinge afstand hebben, is de waarde van de condensator nu alleen afhankelijk van het medium tussen de platen. Door stijging van het niveau in de tank ontstaat er een verandering in de waarde van de capaciteit in de condensator. Omdat lucht een heel andere diëlektrische constante heeft dan de vloeistof kan de meetversterker in de transmitter dit waarnemen. Zie **figuur 292**.

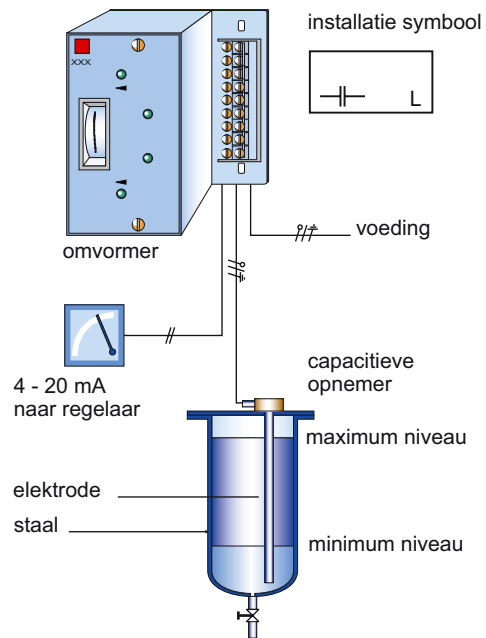


Figuur 292 Verschillende niveaus in een tank

De gemeten capaciteitswaarden van het minimum- en het maximum te meten niveau worden door de transmitter vertaald naar 4- 20 mA uitgangssignaal.

Stijging van het niveau in de tank zorgt voor een evenredig oplopend signaal.

Bij kunststofftanks kan de tankwand niet als elektrode dienst doen. Een extra elektrode of massabuis om de elektrode kunnen dan als tweede elektrode dienst doen. Ook wordt wel een metalen plaat in de kunststof tankwand mee gelamineerd.



Figuur 293 Niveaumeting met capacitieve opnemer

Opgave

340. Wat gebeurt er wanneer deze capacitieve meetmethode wordt gebruikt voor een niveaumeting van een mengsel wanneer de samenstelling van de basisstoffen niet constant is?

Aansluiting



Figuur 294 Capacitieve niveautransmitter (bron: B.V. VEGA meet- en regeltechniek)

Afhankelijk van de uitvoering van de tank kunnen er diverse elektroden worden toegepast. Door toepassing van kunststof als elektrode-isolatie wordt aangroei van product voorkomen.

De lengte van de elektrode wordt aangepast aan de hoogte van de tank en is daarmee bepalend voor het meetgebied. Zie **figuur 294**.

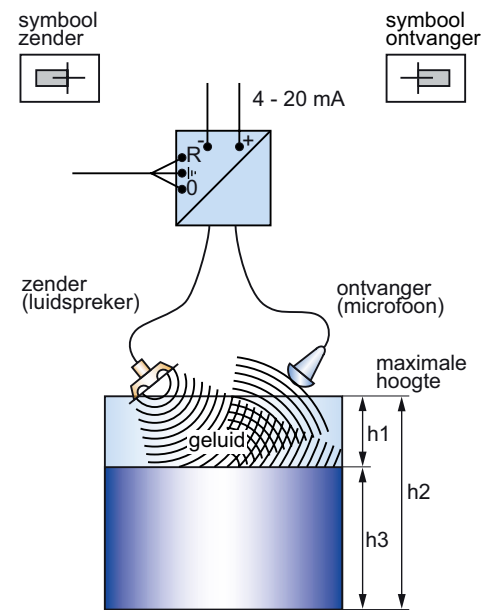
Ultrasonore niveautransmitter



Figuur 295 Ultrasonore niveautransmitter

- Contactloze meting
- Meting voor vloeistoffen en (grof korrelige) vaste stoffen
- Toepassingsgebied tankhoogte
- Geschikt voor agressieve stoffen
- Maximale temperatuur 80 °C, maximale druk 3 bar
- Niet toepasbaar bij damp, stofvorming of schuimvorming

Werking



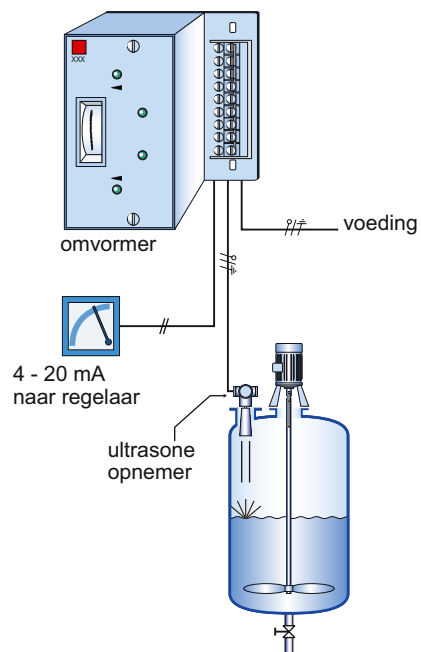
Figuur 296 Principe ultrasonore meting

In **figuur 296** is het principe weergegeven van een niveaumeting door middel van geluid. De ultrasoon meting zendt steeds geluidspulsen uit, die door de vaste stoffen of het vloeistofoppervlak worden weerkaatst. Het geluid plant zich in lucht voort met een snelheid van 330 meter per seconde. Tussen het moment van uitzenden en het ontvangen van de echo verstrijkt een korte tijd.

De omvormer meet de tijd tussen zenden en ontvangen. Hiermee wordt de afstand tussen de zender en het te meten niveau (h_1) bepaald. De hoogte h_1 wordt dan in de omvormer van de maximale hoogte h_2 afgetrokken, waarmee het werkelijke niveau bekend is. In de praktijk bevinden zich zowel de zender als de ontvanger in één behuizing, ook wel transducer genoemd.

Opgaven

- 341.** Is deze meetmethode ook te gebruiken in een vacuüm ruimte?
- 342.** Waarom zal bij stofvorming de meting verstoord raken?



Figuur 297 Meetopstelling ultrasone niveau-meting

De meting kan selectief ongevoelig worden gemaakt voor storende elementen in een tank; bijvoorbeeld in een roerwerk waar valse reflecties ontstaan.

Voorwaarde voor een betrouwbare meting is een goed reflecterend oppervlak. Schuim en stofvorming kan het signaal te veel dempen met als gevolg een foutieve of geen meting.



Figuur 299 Ultrasonische meting in gesloten tank

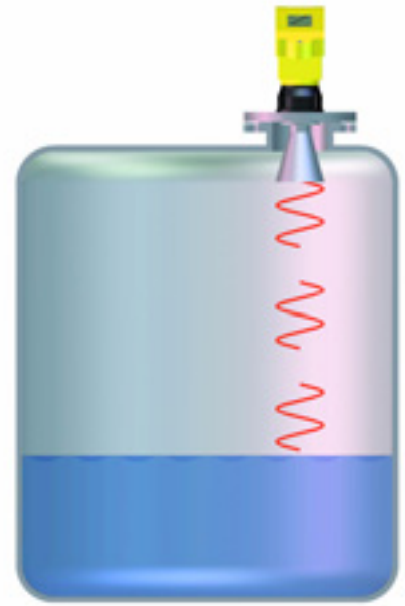
Aansluiting

Aansluiting op een tank wordt uitgevoerd met schroefdraad of een flens. De zender en ontvanger zitten in één component. Zie **figuur 298**.



Figuur 298 Flensaansluiting

Radarmeter transmitter



Figuur 300 Radarmeting (bron: B.V. VEGA meet- en regeltechniek)

- Contactloze meting
- Meting voor vloeistoffen of vaste stoffen (geleide radar)
- Geschikt bij condens, damp of stofvorming
- Maximale temperatuur 400 °C maximale druk 160 bar
- Stabiele meting met hoge reproduceerbaarheid

Werking

Bij de niveaumeting met radar wordt net als bij de ultrasone meting de looptijd gemeten van een korte puls. In plaats van een ultrasone geluidsgolf wordt een hoogfrequente 5,8/26 Ghz radarpuls gebruikt. Het voordeel is dat radargolven bijna niet beïnvloed worden door temperatuur, druk en mediumsamenstelling. De looptijd van een puls is een maat voor de afstand en wordt omgerekend naar het niveau in de tank

Opgave

343. Kunt u bij mistig weer, bij te hoge snelheid, geflitst worden bij een radarsnelheidscontrole van de politie?
344. Is de radarsensor te gebruiken bij damp- of gasvorming in de tank?

Figuur 301 Principe radarmeting



Figuur 302 Radaropnemer

Storingen en onderhoud van niveautransmitters

Opgaven

345. Welke storingen kunnen ontstaan door een verandering van de soortelijke massa van het medium?
346. Hoe vaak moet een transmitter worden gecontroleerd?

Kalibreren / testen

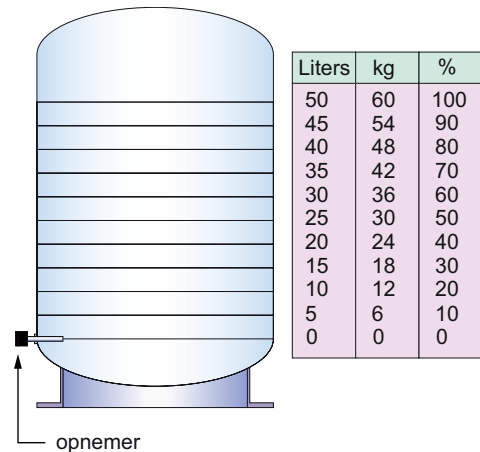


Figuur 303 Indicatie in procenten

Kalibreren van niveautransmitters wordt veelal uitgevoerd in de procesopstelling. Voor een nauwkeurig resultaat van de ijking dient het product van dezelfde kwaliteit/samenstelling te zijn als dat van de normale productie. De druk- en drukverschiltransmitters, waarvan het in te stellen meetbereik berekend kan worden, zullen gekalibreerd worden in de testopstellingen zoals omschreven bij de druktransmitters.

Kalibreren in procenten vulhoogte van de tank

1. De transmitter wordt op de tank of silo geplaatst.
2. Het niveau in de tank wordt op het punt gebracht dat als nulpunt voor de meting is gekozen.
3. Met de nulpuntinstelling wordt het uitgangssignaal op 4 mA ingesteld.
4. Vervolgens wordt de tank gevuld tot het niveau dat met 100% van het uitgangssignaal overeen moet komen.
5. Met de span-instelling wordt het uitgangssignaal op 20 mA ingesteld.
6. De hoogte kan in % vulling of in meters worden aangewezen op een indicator of regelaar.



Figuur 304 Schaalverdeling

Kalibreren in liters, m³ of kg vulling van de tank

1. Het ingestelde meetbereik is als hier boven omschreven gerealiseerd.
2. De tank of silo wordt in stappen gevuld met een bekende hoeveelheid grondstof.
3. Per stap wordt op de ijkstaat aangegeven hoeveel liters, m³ of kg er op dat moment inzit.
4. Het aanstal stappen tijdens het vullen van 0 tot 100% vulling bepaalt hoe nauwkeurig er kan worden afgelezen.
5. Afhankelijk van de vorm van de tank zal de schaalverdeling al dan niet lineair zijn. De schaalverdeling kan middels de ijkstaat op de schaal van het aanwijzende instrument worden aangebracht.
6. Middels omvorming kan een nietlineair signaal zonodig toch lineair worden aangewezen.
7. De inhoud kan in liters, m³ of kg worden aangewezen op een indicator of regelaar.

Speciale toepassingen

Gammastraling



Figuur 305 Bronhouder

Niveaumetingen met gammastraling worden toegepast op plaatsen waar alle andere meetmethoden niet ingezet kunnen worden zoals bij tanks of reactoren met hoge temperatuur, druk, aangroei, agressieve of slijtende eigenschappen van het product. Het radioactieve preparaat zit opgesloten in een degelijke afscherming, zodat onder geen voorwaarde radioactief materiaal kan vrijkomen. Zie **figuur 305**.

De bronhouder is afsluitbaar en kan in geopende toestand slechts in één richting uitstralen en wel in de richting van de detector. Stijging van het niveau zal minder straling op de detector doen komen. De gemeten straling wordt door de meetomvormer vertaald in een signaal van 4 tot 20 mA.

Toepassing in de voedings- en genotsmidde-lenindustrie is toegestaan, omdat zuivere gammastraling het product niet kan besmetten.

Peillood



Figuur 306 Peillood

Een peillood wordt toegepast in silo's met vaste stoffen zoals graan of kunststof korrels waarin andere meetsystemen moeilijkheden ondervinden.

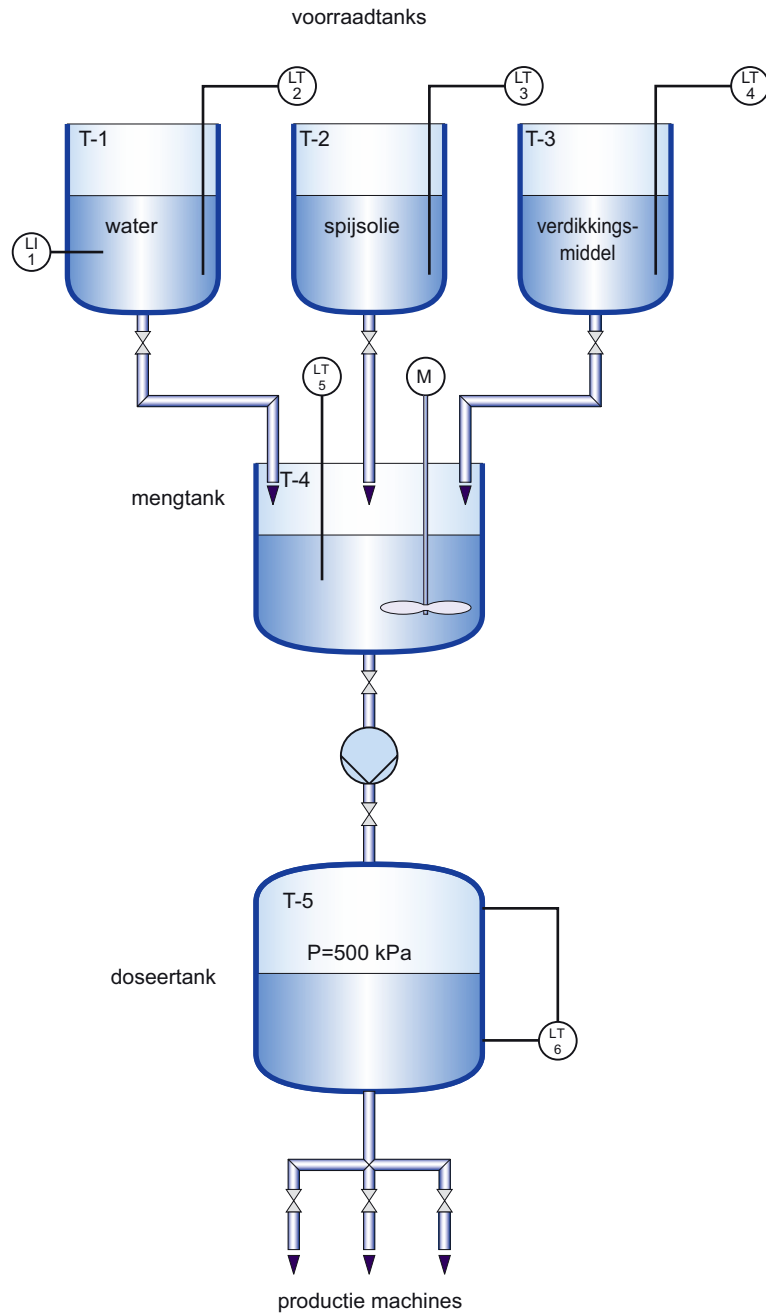
Vanuit de sensor wordt een peillood aan een kabel naar beneden gelaten.

Op het moment dat het oppervlak wordt geraakt, verandert de kracht op de kabel en het peillood wordt vervolgens weer opgetrokken. Op dit keerpunt wordt de lengte van de neergelaten kabel gemeten. Deze is een maat voor het niveau in de silo. Een meetversterker zet deze maat om in een signaal van 4 tot 20 mA.

Eindopdracht niveautransmitters

In **figuur 307** is een deel van een proces weergegeven. In dit proces worden grondstoffen voor de voedselindustrie gemaakt. Vanuit de voorraadtanks worden naar behoefte water (T-1), spijsolie (T-2) en een

verdikkingsmiddel (T-3) naar de mengtank (T-4) gevoerd. Na door het roerwerk goed te zijn gemengd, wordt het mengsel naar een onderdruk staande tank T-5 gepompt. Vanuit T-5 worden de productiemachines gevoed.



Figuur 307 Processchema

In dit schema zijn alleen de P&I-symbolen aangegeven die betrekking hebben op niveaumetingen. Per meetpunt is in **figuur 308** de meetmethode aangegeven.

Meetpunt	meetmethode
LI-1	peilglas
LT-2	verdringer
LT-3	vlotter
LT-4	capacitief
LT-5	ultra sonoor
LT-6	drukverschil

Figuur 308 Tabel meetmethoden

Opgaven

- 347.** De voorraadtank T-1 bevat water (soortelijke massa = 1000 kg/m^3) en is gevuld tot een hoogte van 4 meter. Hoe groot is de druk op de bodem van T-1?
- 348.** De voorraadtank T-2 bevat spijsolie (s.m. = 800 kg/m^3) en is ook gevuld tot een hoogte van 4 meter. Hoe groot is de druk op de bodem T-2?
- 349.** Het niveau in tank T-1 wordt gemeten met een verdringer.
- Wat bepaalt het meetgebied van transmitter LT-2?
 - Het niveau stijgt verder dan de bovenkant van de verdringer. Wat gebeurt er in dat geval met de opwaartse kracht?
- 350.** In voorraadtank T-2 wordt het niveau gemeten met een vlotter
- De soortelijke massa van de spijsolie verandert. Heeft dit gevolgen voor de aanwijzing? Verklaar uw antwoord.
 - Is de keuze van een vlotter om het niveau te meten de juiste? Verklaar uw antwoord.
- 351.** LT-4 meet het niveau in tank T-3 met een capacatieve opnemer. Van welk materiaal is de elektrode gemaakt?
- 352.** Door toevoeging van een verkeerde soort spijsolie ontstaat tijdens het roeren in tank T-4 veel schuim. Heeft dit gevolgen voor de meting? Verklaar uw antwoord.

353. Met de niveautransmitter LT-6 wordt middels drukverschilmeting het niveau in tank T-5 bepaald. Voor de uitvoeringsvorm is gekozen voor flensaansluitingen met membranen op de tank. Capillaire leidingen, gevuld met siliconolie, verbinden de flenzen met de transmitter. Het mengsel in de tank heeft een soortelijke massa van 950 kg/m^3 wat overeenkomt met dat van de siliconolie in de transmitter. De meetpunten zijn op 3 meter van elkaar aangesloten op de tank. De druk boven de vloeistof is 500 kPa

a. Waarom noemen we deze meting indirect?

b. Wordt het onderste of bovenste meetpunt aangesloten op de hogedruk aansluiting van de transmitter?

c. Wat is de maximale druk op de onderste aansluiting van de transmitter bij een volle tank en wat is de minimale druk bij een lege tank? Noteer deze waarden in **figuur 309**.

d. Wat is de druk op de transmitter van de bovenste aansluiting bij een volle en een lege tank? Noteer deze waarden in **figuur 309**.

e. Bereken D_p bij een volle en een lege tank en noteer deze waarden in **figuur 309**.

f. Bepaal wat uitgangswaarden van het mA-sigitaal en noteer deze waarden in **figuur 309**.

	hogedruk kant	lagedruk kant	Δp	I_{uit}
volle tank	Pascal	Pascal	Pascal	mA
lege tank	Pascal	Pascal	Pascal	mA

Figuur 309 Uitwerking

Hoofdstuk 11 Flowtransmitters

Inleiding

In dit hoofdstuk komen de volgende onderwerpen aan de orde:

- begrippen stromingsmetingen
- toepassingen stromingsmetingen
- Typen flowindicatoren en flowtransmitters
- onderhoud en storingen
- aansluiten en kalibreren

Begrippen

De meet- en regeltechniek voor vloeistofstromen kent drie belangrijke grootheden. Zie **figuur 310**.

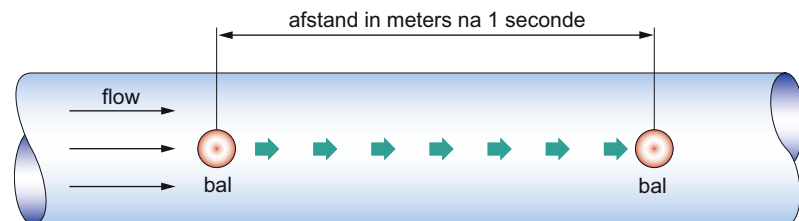
Grootheid	Symbol	Eenheid(of afgeleide hiervan)
stroomsnelheid (flowrate)	v	m/s
volumestroom (flow)	q_v	m^3/s
massastroom (flow) kg/s	q_m	kg/s
volume(flowquantity)	V_m	m^3
massa (flowquantity)		kg

Figuur 310 Grootheden in de meet- en regeltechniek

Stroomsnelheid of flowrate

De snelheid van de vloeistof in een leiding noemen we stroomsnelheid of flowrate. De snelheid wordt uitgedrukt in meters per seconde. In **figuur 311** is dit te zien aan de

hand van een pingpongbal in een stromende vloeistof. Van belang is welke afstand het balletje in één seconde aflegt. De snelheid wordt aangegeven met de letter v van velocity.

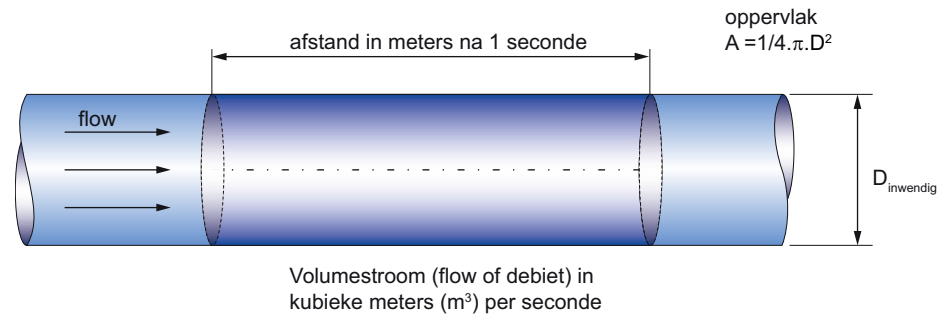


stroomsnelheid = flowrate in meters per seconde

Figuur 311 Flowrate

De volumestroom of flow

In de procesindustrie wil men vooral weten welke hoeveelheden vloeistof, gas of stoom per tijdseenheid door een leiding stromen. Dat noemt men de volumestroom, debiet of flow. Wanneer we de stroomsnelheid van de stof en de diameter van de leiding weten, kunnen we ook de volumestroom berekenen.



Figuur 312 Flow

De **flow** wordt berekend met de formule:

$$qv = v \times A$$

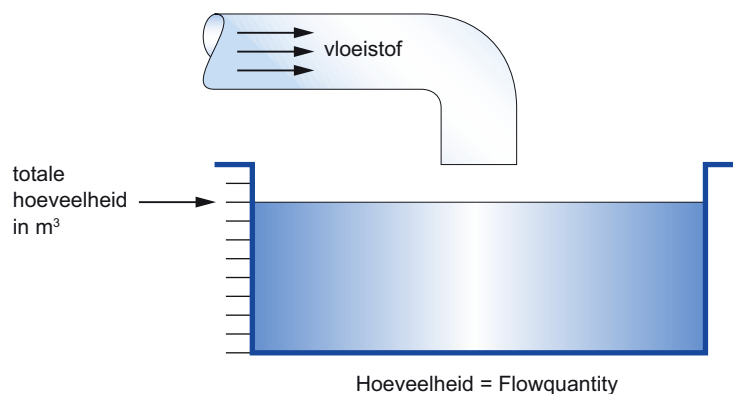
qv = volumestroom in m³/sec

v = stroomsnelheid in m/sec

A = oppervlakte van de doorsnede van de leiding in m²

Het volume of de flowquantity

In de praktijk vraagt men niet alleen naar de hoeveelheid per seconde, maar ook naar de totale hoeveelheid of (volume)vloeistof of gas. Zie **figuur 313**.



Figuur 313 Flowquantity

Zo is het bij een benzinstation interessanter te weten hoévél benzine er is gepompt dan met welke snelheid (flowrate) en flow dit gebeurt.

Er zijn meters, waarmee men het volume direct kan meten.

Om de totale hoeveelheid (flowquantity) vloeistof of gas te meten, gebruikt men in de praktijk meestal flowmeters met een telwerk. Hiertoe dient het volume te worden berekend.

Dat gebeurt met de formule:

$$V = qv \times t$$

V = flowquantity in m³

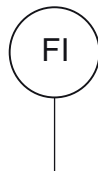
qv = flow in m³ /seconde

t = tijd in seconden

Let op: de formule geldt alleen als de volumestroom qv constant is tijdens de meting, tenzij de flowmeter een automatische integrerende (somerende) werking heeft.

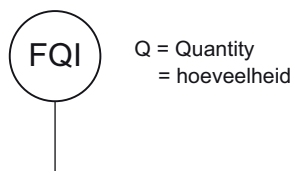
Veel flowmeters meten zowel de flow (debiet) als de flowquantity (totaal doorgestroomde hoeveelheid). Soms is het ook zo, dat het basisinstrument de flow meet en dat dit flow-sig-naal in een zogenaamde integrator (flow x tijd) wordt omgezet in flowquantity. De integrator (telwerk) telt telkens het momentane flowsig-naal op in de tijd, dus $m^3/s \times s = m^3$. Ook kan een pulssig-naal worden afgegeven van bijvoorbeeld 1 puls/liter. Zoals in doseerinstallaties. De flowquantity kan ook gemeten worden door meters die steeds een bepaalde hoeveelheid van het product afpassen. Elke afgestelde hoeveelheid heeft een vast volume dat op een teller wordt vastgelegd (zoals de balggas-meter in een huisinstallatie).

Het procesinstrumentatie-symbool voor een flowmeter (debietmeter) is:



Figuur 314 Symbool Flowindicator

Het procesinstrumentatie-symbool voor een flowmeter (debietmeter), uitgebreid met een integrator, die dus tevens de flowquantity (totale hoeveelheid) telt, is:



Figuur 315 Symbool Flowquantityindicator

Van de eenheid voor flow m^3/s zijn ook enkele afgeleiden in omloop. Zoals: liter/uur, liter/minuut, m^3/uur , cm^3/s , m^3/h .

Opgaven

- 354.** Wordt er bij u op het bedrijf ergens een flow gemeten? Zo ja, waar gebeurt dat en waarom doet men dit?
- 355.** Waarom monteert men in bepaalde auto's tegenwoordig een flowrate in de benzineleiding? Wat is hierop af te lezen en waarom kan zo'n meter iets zeggen over het gebruik van benzine en de rijstijl van de chauffeur?

Specifieke eisen bij flowmetingen van gassen en stoom

Flow van gassen

Het aanduiden van een hoeveelheid gas in iets moeilijker. Bijvoorbeeld: 1 m³ aardgas met een absolute druk van 7 bar (a) en een temperatuur van 0°C, is 7 keer zoveel aardgas (meer energie) als 1 m³ aardgas met een absolute druk van 1 bar (a) en een temperatuur van 0°C.

In het geval van gassen moeten bij de hoeveelheid m³ (of m³/s) ook druk en temperatuur opgegeven worden. Men spreekt dan over 'bedrijfskubieke meters'. Zondere nadere aanduiding betekent m³ bij gassen bedrijfskubieke meters.

Met het oog op een eenduidige aanduiding is het begrip "normaal kubieke meter" ingevoerd (aangegeven als m³0 of ook nog wel, als Nm³). Onder een m³0 verstaat men een m³ met een absolute druk van 1 bar (absoluut) en een temperatuur van 273 K (0°C). Een normaal kubieke meter gas past dus precies in een vat met een inhoud van een kubieke meter (1 x 1 x 1 meter) bij een absolute druk van 1 bar (absoluut) en 0°C.

Een flowmeter meet de bedrijfsflow. Van de bedrijfsflow is de druk meestal hoger dan 1 bar terwijl de temperatuur praktisch nooit 0°C is. Om de turbinemeter toch normaal kubieke meters (ook genoemd normaal flow) aan te laten wijzen, moet er dus op druk en temperatuur worden gecorrigeerd. Dit wordt gedaan door een zogenaamd correctie-apparaat. Deze past automatisch de wet van Boyle-Gay Lussac toe.

De wet luidt:

$$\frac{(P_0 \times V_0)}{T_0} = \frac{(P \times V)}{T}$$

waarbij T in Kelvin (K) moet worden genomen.

De betekenis van de letters is de volgende:

p₀ = gelijk aan 1 bar (a)

V₀ = onbekend maar wordt uitgedrukt in Nm³

T₀ = gelijk aan 0°C, dus 273 Kelvin

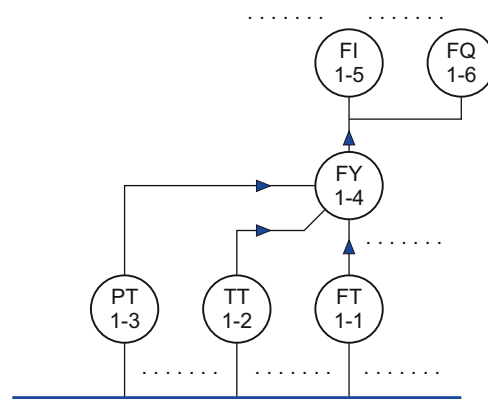
p = de absolute druk van het gas, onder bedrijfscondities gemeten

V = het volume van het gas onder bedrijfscondities. Dit wordt gemeten door de flowtransmitter

T = de temperatuur van het gas onder bedrijfscondities, uiteraard in Kelvin. Ook deze temperatuur is te meten

Let op: steeds rekenen met absolute druk.

De meeste flowmeters meten "bedrijfskubieke meter" (m³). Dus om het aantal "normaal kubieke meter" (m³0) te weten, moet men bovenstaande berekening uitvoeren. Dit kan echter alleen, wanneer gedurende de meetperiode druk én temperatuur (redelijk) constant zijn. Natuurlijk is dit in veel gevallen niet zo. Het correctie-apparaat waarin de temperatuur en de druk van het gas automatisch worden ingegeven, kan de flow direct in normaal m³/h weergeven. Het procesinstrumentatieschema voor een flowmeting, uitgerust met een flowcomputer, ook wel genoemd "met druk- en temperatuurcompensatie", staat in **figuur 316**.



Figuur 316 Flowquantity in m³

De flowmeter meet nu het gas onder bedrijfscondities. Het correctie-apparaat meet de druk en de temperatuur van het gas.

Stel we hebben de volgende meetwaarden:

$$V = 10\text{m}^3$$

$$T = 15\text{ }^\circ\text{C of } 288\text{ Kelvin } (0\text{ }^\circ\text{C} = 273\text{ K } 15\text{ }^\circ\text{C} = 273 + 15 = 288\text{ K})$$

$$P = 10\text{ bar (absoluut)}$$

Het correctie-apparaat rekent nu de hoeveelheid gas in normaal kubieke meters uit, volgens de wet van Boyle-Gay Lussac. Dat kunt u ook.

Vult u de bekenden maar in:

$$\frac{p_0 \times V_0}{T_0} = \frac{p \times V}{T}$$

$$\frac{1 \times V_0}{273} = \frac{10 \times 10}{288}$$

$$\frac{V_0}{273} = \frac{100}{288}$$

$$V_0 = \frac{100 \times 273}{288}$$

$$V_0 = 95\text{ m}^3_0 \text{ (normaal kubieke meter)}$$

Opgave

356. Geef bij de symbolen uit **figuur 316** aan wat de symbolen betekenen.

Flow van stoom

Voor de meting van stoomflow geldt een uitzondering. Ook al is stoom een gas, de flow wordt niet uitgedrukt in m^3/uur of m^3/h , maar in kg/s of kg/uur of ton/uur (1000 kg/uur). Het aantal bedrijfs m^3/s wordt dus vermenigvuldigd met de soortelijke massa. Dus $\text{m}^3/\text{s} \times \text{kg/m}^3 = \text{kg/s}$.

Bij oververhitte stoom hangt de soortelijke massa af van de druk en de temperatuur. Daarbij moet men bij het meten van de stoomflow altijd compenseren voor druk en temperatuur. Men meet dus de flow in m^3/uur (bedrijfs m^3/s) en vermenigvuldigt dit met de soortelijke massa kg/m^3 , na correctie op druk en temperatuur. Het procesinstrumentatieschema hiervoor is hetzelfde als in **figuur 316**. Bedenk wel dat de meeste flowmeters voor vloeistoffen eveneens meten in "bedrijfskubieke meters". En alhoewel vloeistoffen nagenoeg niet samendrukbaar zijn en dus de druk van het medium geen rol speelt, heeft de

temperatuur van het medium wel degelijk invloed. Daarom zien we steeds meer vloeistofflowmeetsystemen met temperatuurcompensatie.

Er zijn tegenwoordig ook flowmeters op de markt die de doorgestroomde hoeveelheid direct in gewichtseenheden geven, de zogenaamde massaflowmeters.

Indicators en transmitters

De toegepaste indicators of transmitters worden gekozen al naar gelang flowrate, flow, flowquantity of combinaties hiervan van belang zijn. Verder bepaalt het soort medium welk type of uitvoering hiervoor het beste geschikt is. Ook de gewenste nauwkeurigheid en meetverhouding is een belangrijk criterium voor de instrumentkeuze.

Meetverhouding (turndown)

Onder meetverhouding verstaat men de minimale hoeveelheid die nog betrouwbaar kan worden gemeten ten opzichte van de maximaal te meten hoeveelheid. Een meetverhouding van 1:10 betekent dat tot 1/10 van de maximale hoeveelheid gemeten kan worden.

Indicators en transmitters



Figuur 317 Flowmeting (Vortex) van stoom (bron: ABB Automation-Businessunit Instrumentation)



Figuur 318 Flowmeting (Vortex) van een vloeistof (bron: ABB Automation-Businessunit Instrumentation)



Figuur 319 Flowtransmitter met meetschijf



Figuur 320 Magnetic flowtransmitters

Indicators **Vadometer**

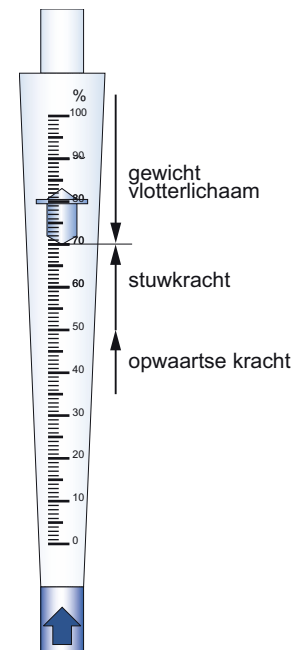


Figuur 321 Vadometer

Veel voorkomende toepassingen in diverse uitvoeringsvormen zijn:

- Meting met continue aanwijzing
- Meten van schone vloeistoffen en gassen
- Uitvoering in glazen of kunststof buizen
- Lineaire schaal in % of l/min

Werking



Figuur 322 Uitvoer vadometer

De vadometer (vado = variabele doorlaat) is een flowmeter, gebaseerd op de stroomsnelheid van de te meten flow. Een vadometer bestaat uit een glazen of kunststof buis, die van onder naar boven wijder wordt. Zie **figuur 322**.

In de buis zit een tol, met een hogere soortelijke massa dan de stromende vloeistof of gas.

Bij een gas- of vloeistofstroom in de vadometer wordt de tol opgetild. Omdat de soortelijke massa van de tol groter is dan die van de stromende stof, is de opwaartse kracht (= volume x soortelijke massa van de vloeistof) alleen niet voldoende om de tol op te tillen. Er ontstaat onder de tol een stuwkracht. Zodra deze samen met de opwaartse kracht groter wordt dan het gewicht van de tol, gaat de tol stijgen. De tol blijft stijgen totdat de stuwkracht plus de opwaartse kracht gelijk is aan het gewicht van de tol. De stuwkracht wordt bepaald door de snelheid van de stroming.

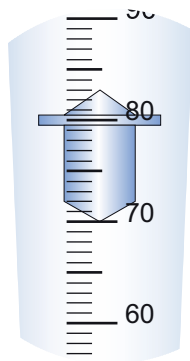
De stuwkracht ontstaat door een stuwdruk op het oppervlak van de tol.

De stroomsnelheid (stuwdruk) neemt af als de buis wijder wordt. Immers de stroom wordt dan over een groter oppervlak verdeeld. Omdat bij de vademeter de diameter van de buis inwendig groter wordt naarmate de tol hoger komt betekent een hogere stijghoogte ook een hogere flow.

Op dat ogenblik is de tol in evenwicht en blijft op dezelfde hoogte in de stroming staan. Hieruit kunnen we de conclusie trekken dat, wanneer de tol zweeft, het drukverschil (dP) constant is. Dat is altijd zo, of de tol nu onderin of bovenin de buis zweeft. Door de vorm van de glazen buis en de tol is de schaalverdeling van een vademeter lineair. Aflezen van de gemeten waarde doe je op de plaats waar de diameter van de tol het grootst is. Zie **figuur 322** en meer in detail in **figuur 323**.

Opgaven

357. Wat is de flowwaarde in **figuur 323**?



Figuur 323 Aflezing van tol

Vadometer met indirecte meting



Figuur 324 Indirecte meting vademeter

Waar toepassing van glas of kunststof niet mogelijk is, kan de meetbuis worden uitgevoerd in roestvrij staal. Middels magnetische doorvoering wordt de verplaatsing van de tol omgezet in een indicator. Zie **figuur 324**.



Figuur 325 Installatie symbool vademeter

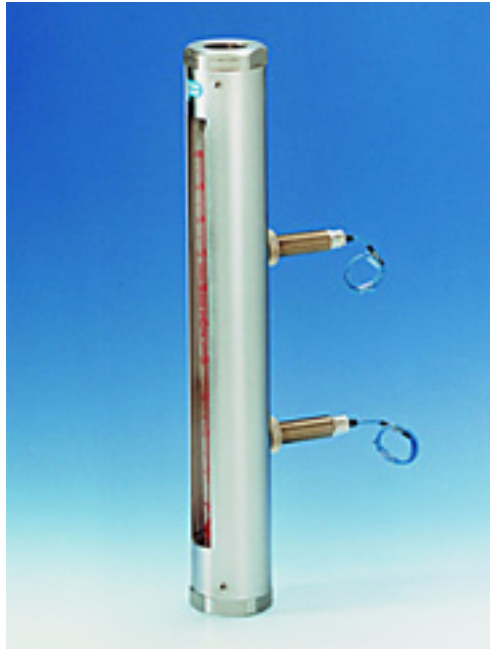
Aansluiten

De vademeter wordt met een flensverbinding, schroefdraad of lijmverbinding in leidingsystemen aangesloten. Zie **figuur 326** en **figuur 327**.

Voor een goede meting dient de opstelling zuiver verticaal te worden gemonteerd. Tevens is een minimale nadruk (downstream) noodzakelijk om instabiliteit van de tol te voorkomen.



Figuur 326 Metalen Vadometer met magnetische koppeling tussen vlotter en omvormer (bron: ABB Automation-Businessunit Instrumentation)



Figuur 327 Glazen Vadometer met hoog- en laagalarm contacten

Schoepenrad/Tandrad



Figuur 328 Watermeter

- Meten van schone vloeistoffen
- Nauwkeurig en stabiel
- Directe montage op proces
- Meting volume (flowquantity)
- Toepassing in industrie en gebouwen
- Pulsuitgang mogelijk

Werking



Figuur 329 Aflezen watermeter

Veel toegepast als watermeter!

Het doorstromende water brengt een schoepenrad in beweging. De omwentelingsnelheid is evenredig aan de afname. Voor de overbrenging van het schoepenrad in het water naar het telwerk wordt een magneetkoppeling gebruikt. Hierdoor wordt voorkomen dat de meter wordt blootgesteld aan corrosie of kalk. Dat is beter voor de levensduur van de meter.

Nauwkeurigheid en stabiliteit zijn de belangrijkste kenmerken van deze meters. De meter geeft het totale verbruik (flowquantity) aan. De aflezing in m³ is in getallen en met wijzertjes de waarde achter de komma. Het zwarte sterretje is een flowindicator; het draaien ervan geeft aan dat er op dat moment stroming is. Zie **figuur 329**.

Het telwerk kan worden uitgerust met een sensor waarmee, middels meting van het aantal pulsen, de hoeveelheid ook elders kan worden afgelezen.

Aansluiten

In de industrie, waar grote hoeveelheden worden gemeten, is de meter voorzien van flensaansluitingen. Zie **figuur 330**. Voor klein-gebruik in huizen wordt de meter met koppelingen geïnstalleerd. Zie **figuur 331**.



Figuur 330 Watermeter met flensaansluiting



Figuur 331 Watermeter met koppelingen

Gasmeter



Figuur 332 Balggasmeter

- Meten van gas
- Meting van het volume (m³)
- Toepassing in industrie en gebouwen

Werking



Figuur 333 Aflezen gasmeter

De naam balggasmeter zegt het al: in de meter is een balg geplaatst. Bij afname van gas stroomt het gas in de uitlaatkamer naar de verbruiker. De inlaatkamer wordt gevuld vanuit de toevoerleiding. De hogere druk in de inlaatkamer van de balg drukt het gas uit de uitlaatkamer naar de verbruiker. Aan het eind van de slag van de balg worden de aansluitingen van de beide kamers omgekeerd waarna de retourslag begint.

Via een magnetische koppeling wordt de beweging van de balg overgebracht op het telwerk dat kan worden afgelezen in m³. Zie **figuur 333**.

Ook dit telwerk kan worden uitgerust met een sensor waarmee, middels meting van het aantal pulsen (1 puls per 10 dm³), de hoeveelheid elders kan worden afgelezen.

Aansluiten

Kleine uitvoeringen worden met koppelingen gemonteerd. Voor de grote industriële uitvoeringen wordt flensmontage toegepast.

Storingen en onderhoud flowindicatoren

Kalibreren / testen

Nauwkeurig kalibreren vereist meestal een dure kalibreerinstallatie. Daarom worden de meters meestal naar de leverancier gestuurd.

Kalibreren

Wie zelf wil kalibreren dient over een ijkinstallatie te beschikken.

De te kalibreren indicator wordt in serie geschakeld met een nauwkeurige precisie-meter. Binnen de waarden van de meetverhouding worden verschillende waarden van de flow of flowrate vergeleken. Voor een vademeter kan op deze wijze een passende schaal worden gemaakt. Bij water- of gasmeters kan in geval van een afwijking gewoonlijk alleen de leverancier iets doen.

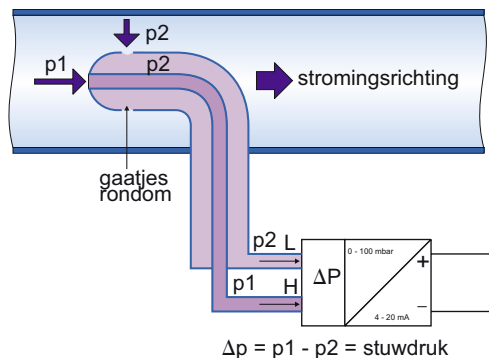
Testen

Testen van een indicator kan globaal door gedurende een bepaalde tijd een hoeveelheid vloeistof door de meter te laten lopen, deze op te vangen in een tank en vervolgens door meting of weging de hoeveelheid te bepalen

Flow Transmitters op basis van drukverschil

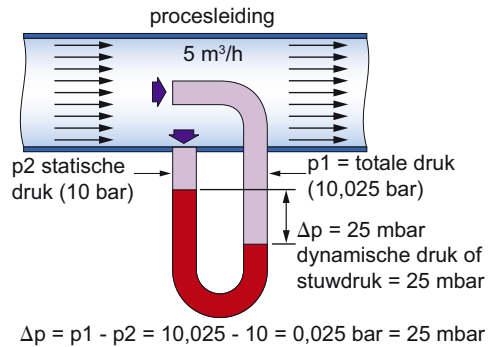
Bij een aantal opnemers, zoals de pitotbuis of de annubar wordt gewerkt met stuwdruk-meting.

Als een vloeistof of gas door een leiding stroomt, krijgen we te maken met twee soorten druk. De druk in de leiding wordt de statische druk genoemd. Als er stroming in de leiding is, dan ontstaat er op een punt waar de stroming tot stilstand wordt gebracht een stuwdruk, ook wel dynamische druk genoemd. De snelheidsenergie die in het medium zit opgeslagen wordt dan omgezet in druk-energie. De vloeistof of het gas stuwt als het ware op tot een bepaalde druk. In **figuur 334** wordt op punt p1 de stuwdruk gemeten. Ook de statische druk werkt op dit punt; dus wordt hier de som van beide drukken gemeten. Op punt p2 wordt alleen de statische druk gemeten. Het meetorgaan is in dit geval een zo genaamde pitotbuis. De annubar werkt door hetzelfde principe maar heeft een andere constructie.



Figuur 334 Pitotbuis

Door de meetpunten p1 en p2 op een drukverschiltransmitter aan te sluiten kan het verschil (de stuwdruk), bepaald worden. Bij een hogere snelheid in de leiding zal ook de stuwdruk toenemen. Deze toename is echter niet evenredig groter met de toename van de snelheid. Met een paar voorbeelden bekijken we het verband hier tussen.

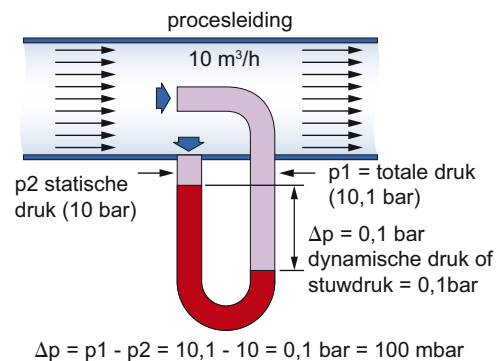


Figuur 335 Symbolische pitotbuis

In **figuur 335** is een symbolische pitotbuis aangesloten op een u-buis om het drukverschil te meten.

Als er geen doorstroming is, zal het drukverschil tussen de punten p1 en p2 nul zijn.

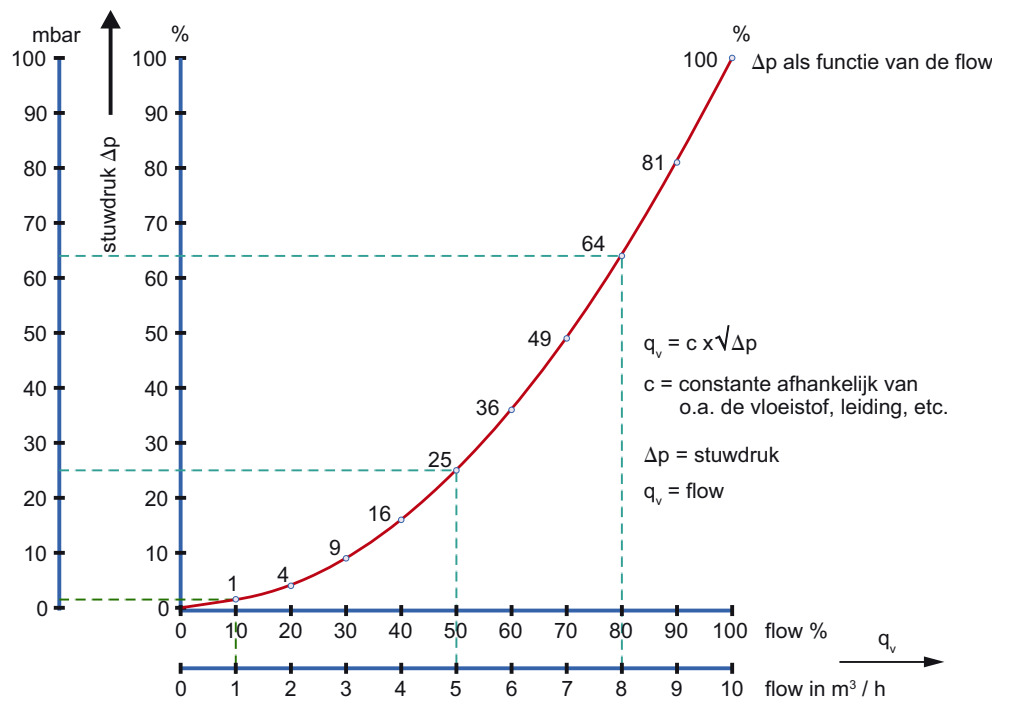
Bij een flow van 5 m³/h zien we dat de stuwdruk (Δp) 25 mbar is.



Figuur 336 Symbolische pitotbuis

In **figuur 336** zien we dat de flow is toegenomen tot 10 m³/h.

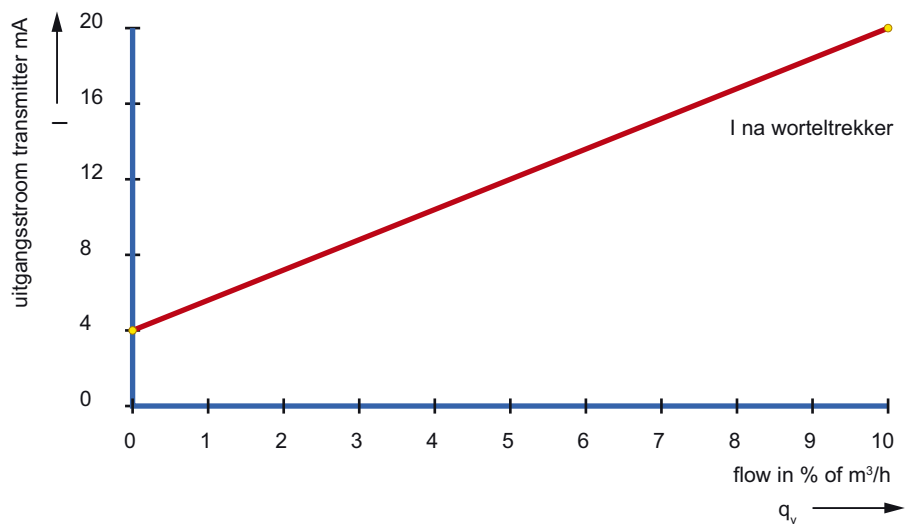
Bij een verdubbeling van de flow zien we echter dat de stuwdruk niet is verdubbeld, maar verviervoudigd. Volgens de natuurkundige wet van Bernoulli neemt de stuwdruk kwadratisch toe met de verhoging van de flow. In **figuur 337** is dit in grafiekvorm weergegeven.



Figuur 337 Kwadratische functie

Om weer een lineair signaal te krijgen wordt na de flowmeting (bij stuwdruk metingen) altijd een rekenrelais geplaatst dat met de functie "worteltrekken" een lineair uitgangssignaal geeft. Zie **figuur 338**.

De worteltrekker wordt veelal geïntegreerd in de elektronica van de drukverschiltransmitter. Een nadeel van flowmeten met stuwdrukmeting is dat de meetverhouding klein is (circa 1 : 5 à 6).



Figuur 338 Grafiek lineaire functie

Annubar transmitter

- Meting van gassen en vloeistoffen
- Constante soortelijke massa
- Opnemer in de leiding geeft een laag drukverlies
- Nauwkeurigheid $\pm 1,5\%$
- Meetverhouding 1 : 8



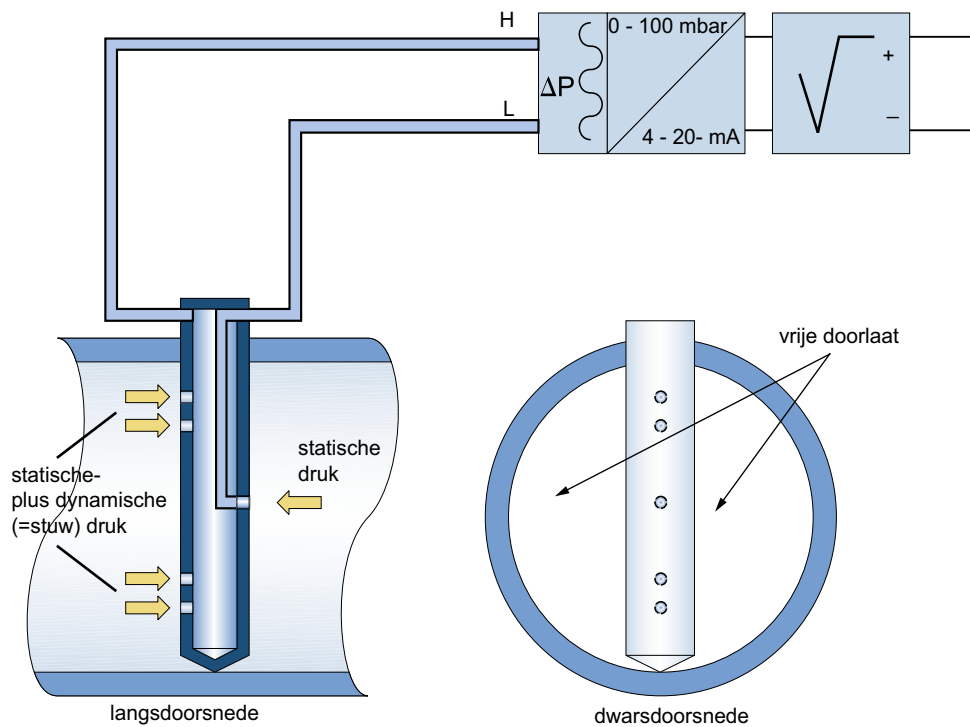
Werking

De opnemer

De annubaropnemer is een speciale dubbele buis die loodrecht op de stroomrichting in de leiding wordt bevestigd. Zie **figuur 340**.

Net als met de pitotbuis wordt met de annubar de stuwdruk gemeten. Bij de annubar wordt de totale druk aan de voorzijde op vier plaatsen in de leiding gemeten. De vier meetpunten zijn in de buis met elkaar verbonden zodat een gemiddelde druk wordt gemeten. Aan de achterzijde van de buis wordt op een punt de statische druk in de leiding gemeten en via een inwendige buis verbonden met de dP-meter. De annubar geeft, vanwege de geringe afmeting, weinig drukverlies. De annubar wordt toegepast in schone gassen, vloeistoffen en stoom.

Figuur 339 Annubar transmitter



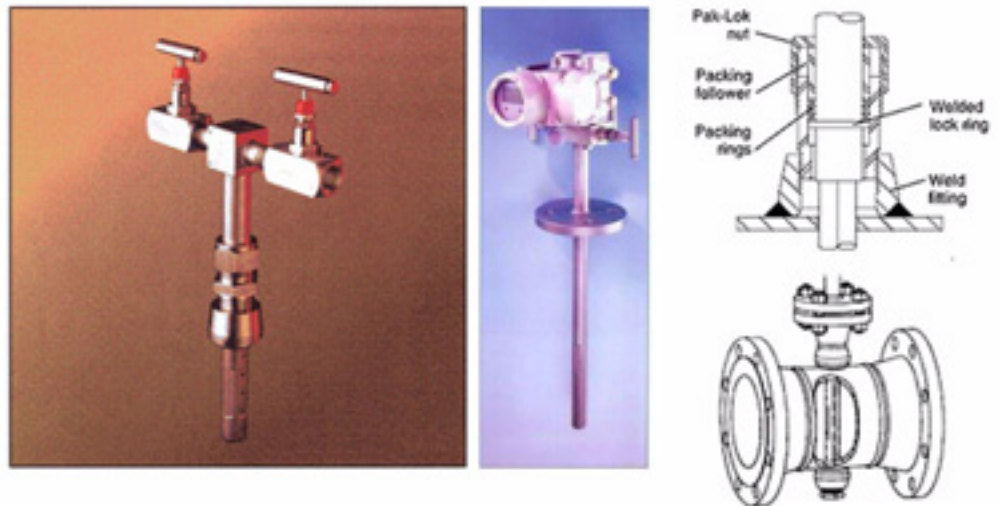
Figuur 340 Principe annubar

De transmitter

De transmitter wordt aangesloten zoals een drukverschiltransmitter. Bij flowmetingen worden echter een aantal bijzondere eisen gesteld aan de plaats van de transmitter ten opzichte van het meetpunt.

Aansluiting

De aansluiting op het proces kan op verschillende manieren worden uitgevoerd. Zie **figuur 341**.



Figuur 341 Annubar aansluitingen in een proces

- Via een meetstomp met flens.
- Middels een inbouwset met flensaansluiting.
- Ook is het mogelijk om de opnemer in te brengen op een in bedrijf zijnde leiding in een speciale constructie met afsluiter.

De doorlaten worden geleverd van 50 tot 1800 mm in roestvrij staal of hastelloy. Toelaatbare temperaturen tot 650°C.

Om turbulenties op het meetpunt te voorkomen, is een rechte leidinglengte vereist van 10 maal de leidingdiameter vóór en 5 maal na de opnemer.

Transmitter met meetschijf of meetflens

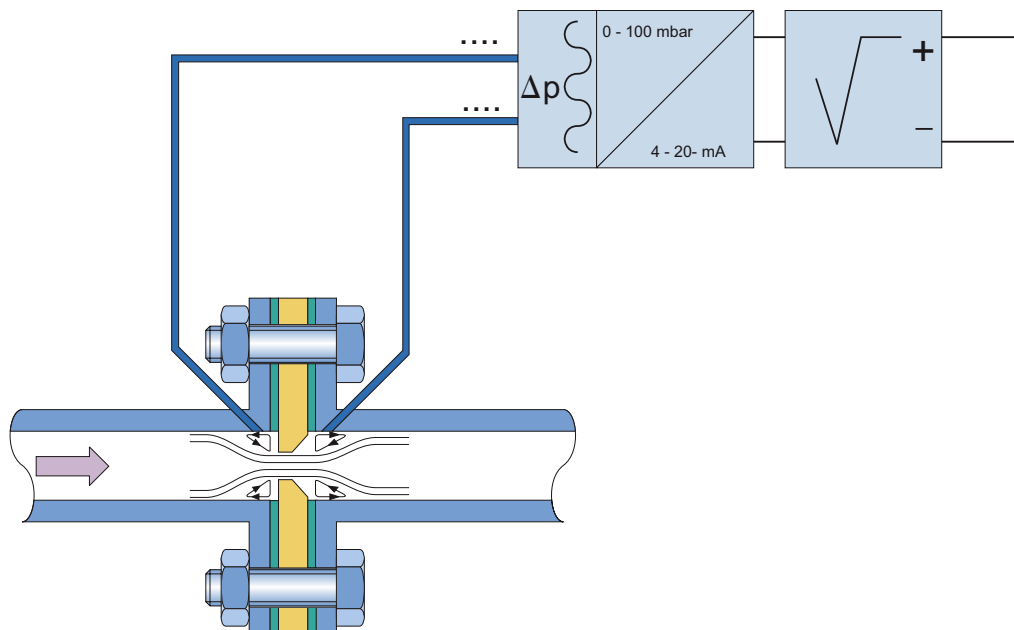
- Meten van relatief schone vloeistoffen of gassen
- Meetschijf in de leiding geeft een (groot) drukverlies
- Nauwkeurigheid $\pm 2\%$
- Meetverhouding 1 : 5



De meetschijf wordt tussen twee flenzen in de leiding geplaatst. Meetpunten vlak vóór en na de schijf worden aangesloten op een drukverschiltransmitter. Zie **figuur 343**.

De meetschijf vormt een weerstand in de stroming waardoor een drukverschil ontstaat. Het meetbereik voor deze flowmeting wordt bepaald door de verhouding in diameter van de doorlaat in de schijf t.o.v. de leidingdiameter. Ook bij deze stuwdrukmeting komt de kwadratische karakteristiek overeen met die van de pitotbuis.

Figuur 342 Meetschijf

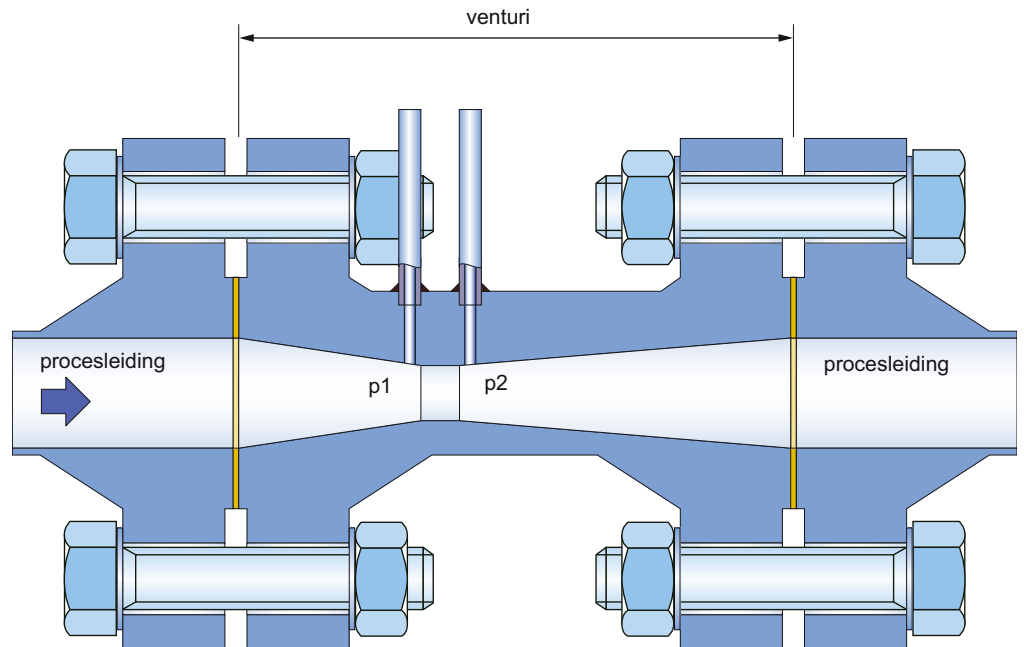


Figuur 343 Principe meetschijf

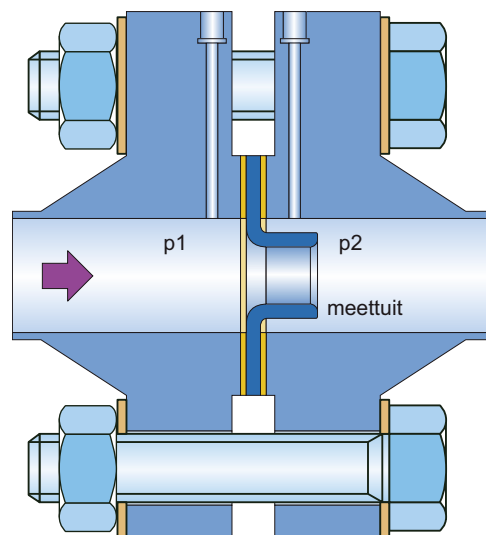
Opgave

358. Vul bij de aansluitingen in **figuur 343** in waar de druk het hoogste is en waar het laagste.

Een nadeel is het blijvend drukverlies bij deze meting. Door toepassing van een meettuit of een venturi, zijn metingen mogelijk met lagere drukverliezen en dus minder energieverlies. Dit komt, omdat de wervelingen die bij een meetschijf ontstaan, hier voorkomen worden. Zie **figuur 345** en **figuur 344**.



Figuur 344 Venturi



Figuur 345 meettuit

Aansluiting

De meetpunten vlak vóór en na de meetschijf worden via meetleidingen, die door de flenzen lopen, aangesloten op de dP-transmitter. Zie **figuur 346**.

Om zo min mogelijk meetfouten te maken, is een rechte leidinglengte vereist van minimaal 10 keer de leidingdiameter vóór en 5 keer na de meetflens.

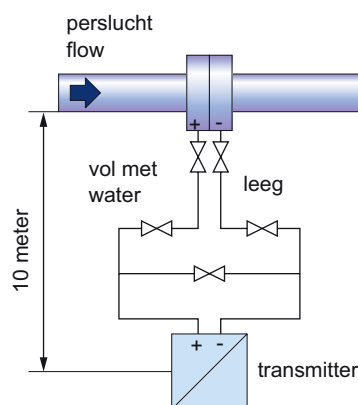


Figuur 346 Aansluiting meetschijf

De drukverschiltransmitter wordt op de bekende wijze aangesloten. Bij flowmetingen worden echter bijzondere eisen gesteld aan de plaats van de transmitter ten opzichte van het meetpunt.

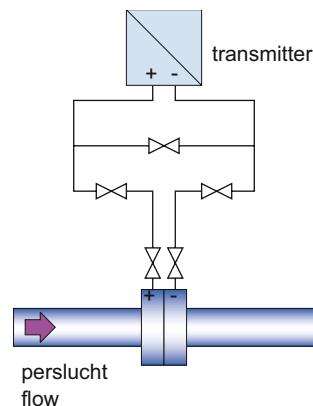
Het inbouwen van meetschijven en drukverschilzenders

Gas



Figuur 347 Foute opstelling gasmeting

Het is zeer belangrijk te voorkomen dat er door drukverschillen meetfouten ontstaan, die niet het gevolg zijn van het 'meetdrukverschil'. Daarvoor moeten de drukverschiltransmitters op de juiste plaats ten opzichte van de meetflens, annubar of pitotbuis worden geplaatst.



Figuur 348 Juiste opstelling gasmeter

Veronderstel dat bij een flowmeting van perslucht met een meetschijf en een drukverschiltransmitter de drukverschiltransmitter opgesteld is zoals in **figuur 347**.

De transmitter zit 10 meter onder de meetschijf. De meetschijf is zo berekend dat bij de maximale persluchtflow (1000 m³/h) de drukverschil (dP) 100 mbar bedraagt. Er zitten wel eens wat waterdruppels in de perslucht. Daarmee loopt de linker meetleiding langzaam vol, terwijl de rechter leeg blijft. Dus ook als er

geen stroming is, is het drukverschil in dit geval (dP) 100 mbar. De drukverschiltransmitter geeft een signaal af alsof de flow 1000 m³/h bedraagt.

Conclusie: plaats de transmitter bij gasmetingen waarbij vloeistofdruppels of condens kan ontstaan, altijd hoger dan de meetflens. Zorg ervoor dat de meetleidingen op afschot naar de meetflens liggen, zodat eventuele vloeistof terug kan stromen naar de procesleiding.

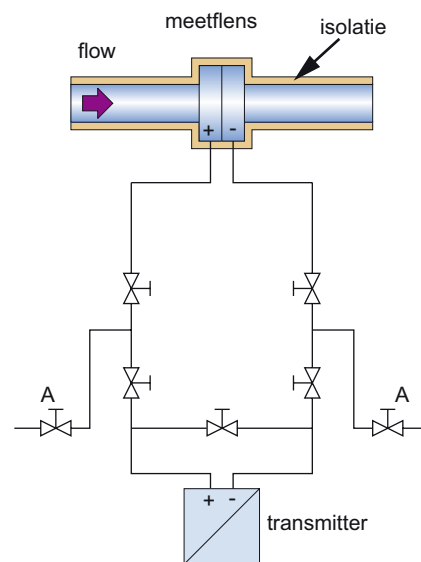
In **figuur 348** is de juiste opstelling voor een gasmeting gegeven.

vloeistof

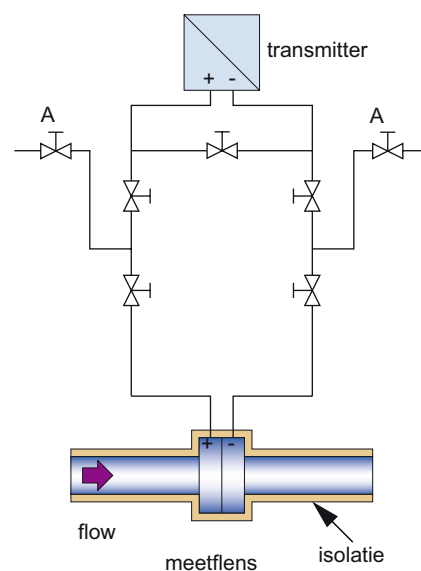
Opgaven

359. Wat is de meest geschikte opstelling voor een vloeistofmeting? **Figuur 349** of **figuur 350**?

360. Waarvoor dienen de spui-afsluiters A?



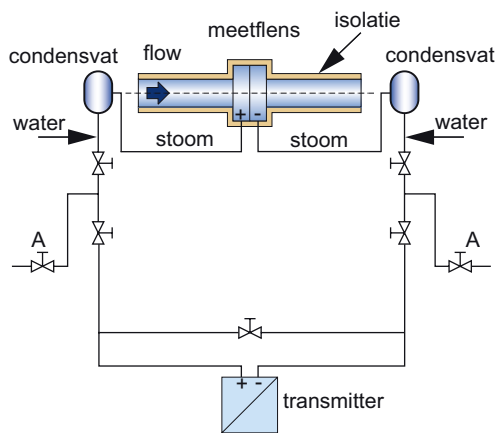
Figuur 349 Opstelling A



Figuur 350 Opstelling B

stoom

Bij stoomhoeveelheidsmetingen moet u de transmitter aansluiten zoals aangegeven in **figuur 351**. Dus altijd onder de meetflens. De meetleidingen en de condensvaten komen vol met water. Overtollig condensaat stroomt terug in de leiding. Om de meetleidingen door te kunnen blazen plaatst men vaak de afsluiters A. Bedenk dat, indien de meetleidingen zijn doorgeblazen deze langzaam vol moeten condenseren. Soms zijn er voorzieningen om de meetleidingen met water te vullen. Hierdoor kunnen er fouten optreden als beide leidingen niet even snel vol condenseren.



Figuur 351 Opstelling stoommeting

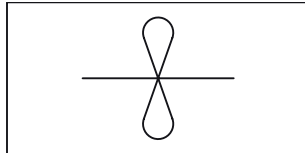
Turbine-flowtransmitter



Figuur 352 Turbine-flowmeter

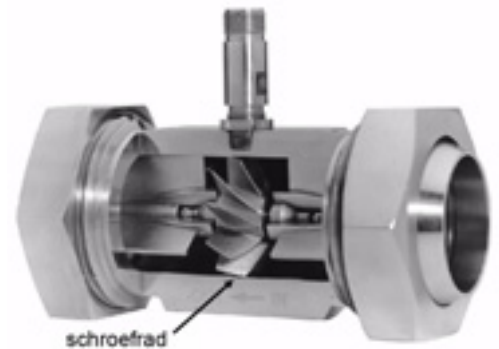
- Meting van schone vloeistoffen en gassen
- Hoge temperaturen en drukken
- Nauwkeurige meting ($\pm 0,5\%$)
- Geschikt voor aflevering van producten
- Meetverhouding 1:20
- Matig tot groot drukverlies over de meting
- Slijtagegevoelig

De turbine-flowmeter meet de snelheid van het doorgestroomde gas of de vloeistof. Zie **figuur 354**.



Figuur 353 Installatie symbool turbinemeter

Werking



Figuur 354 Principe turbine-flowmeter

Vloeistof of gas stroomt door een uitlijnsectie waardoor de turbulentie vermindert en de stroomsnelheid verhoogt. Stuwkracht van het doorstromende medium drijft een meerbladige turbinerotor aan waarvan het toerental evenredig is met de stroomsnelheid. Een inductieve opnemer aan de buitenkant van de meter geeft een puls wanneer een turbineblad passeert. Een meetvormer berekent aan de hand van de doorstroomsnelheid en de doorlaat de flow (m^3/s) en indien noodzakelijk de bijbehorende flowquantity (m^3).

Aansluiting



Figuur 355 Montage turbine-flowmeter

De meter wordt met een flensaansluiting in de leiding geplaatst. Ook een insteekuitvoering is mogelijk. Deze wordt via een meetstomp in de leiding gestoken.

Om beschadiging van de schoepen te voorkomen wordt een filter voor de meter ingebouwd.

Bij inbouw moet rekening worden gehouden met een bepaalde rechte lengte vóór en ná de meter.

Vortex-flowtransmitter

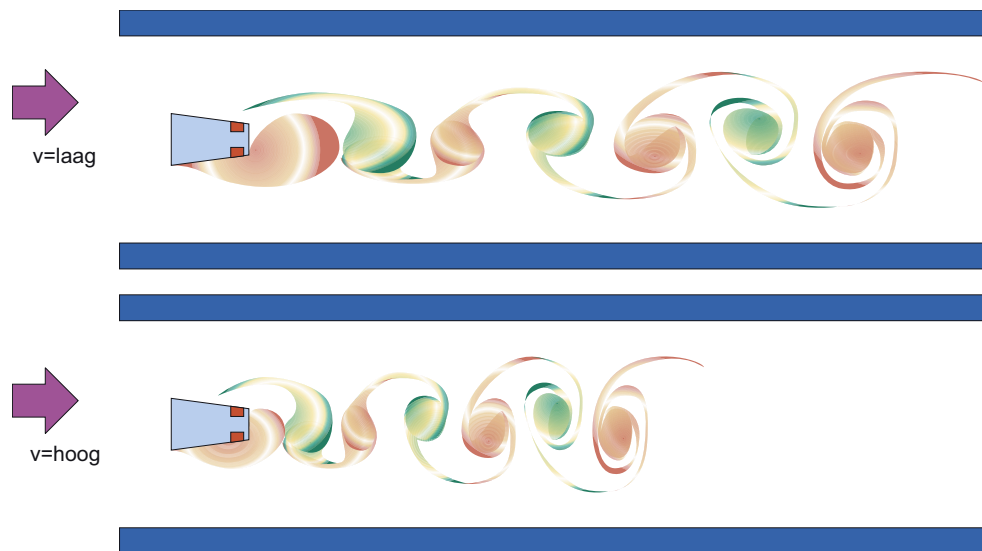


- Geschikt voor schone of licht vervuilde vloeistoffen of gassen en stoom
- Nauwkeurigheid +/- 1%
- Meetverhouding 1:20
- Toepasbaar van – 200 tot 400 °C
- Diameters van 15 tot 300 mm.

Werking

De vortex-flowmeter is gebaseerd op werveleigenschappen van een vloeistof- of gasstroom achter een obstructie, genaamd Vortex-element (wervelstraat van Karman). We herkennen deze werveling het wapperen van een vlag in de wind of aan de wervelingen in het water van een rivier achter de pijler van een brug. Bij een Vortex-transmitter bevindt de obstructie, die niet gestroomlijnd is, zich in de meetbuis van de meter. Zie **figuur 357**. De vorm van de obstructie bepaalt de lineariteit van de meting.

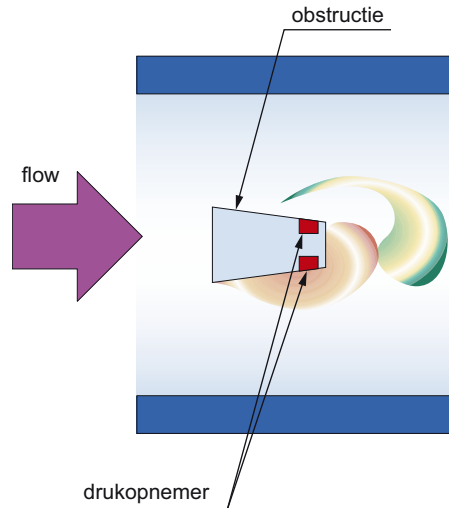
Figuur 356 Vortexstraat



Figuur 357 Vortexen

De wervels (vortexen) volgen elkaar sneller op bij een hogere stroomsnelheid. Zie **figuur 357**. De wervels veroorzaken drukschommelingen die op het achterste gedeelte van het Vortex-element worden gemeten door twee drukopnemers. Zie **figuur 358**. De sensor die deze drukschommelingen vaststelt, kan op verschillende principes berusten (capacitief, piëzo). Het volume tussen twee wervels is constant. Wanneer het aantal wervels per tijdseenheid (frequentie) wordt gemeten, verkrijgt men een flow-proportioneel signaal.

De wervelfrequentie wordt niet beïnvloed door veranderingen in dichtheid, druk en temperatuur van het product. Dezelfde meter kan voor zowel vloeistof, gas als stoom worden toegepast. Voor vloeistoffen met een zeer hoge viscositeit is de meter niet geschikt. Daar treden geen wervelingen meer op.



Figuur 358 Drukopnemers vortex

Aansluiting



Figuur 359 Aansluiting vortex-transmitters

Vortexmetingen worden aangesloten met flensaansluitingen of geklemd tussen twee flenzen in zowel verticale- als horizontale leidingen. Zie **figuur 359**.

De meter heeft een kleinere diameter dan de leidingen in de rest van de installatie en een minimale rechte leidinglengte voor de opnemer nodig, van meer dan vijftien maal de leidingdiameter.

Opgave

361. Wat gebeurt er met de gemeten waarde als een vortex transmitter in een zwaar trillende installatie is geplaatst?

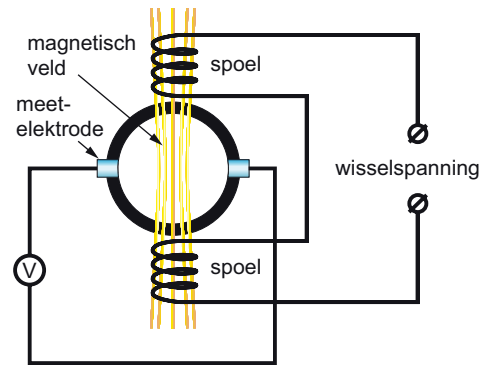
Elektro magnetische flow-transmitter



Figuur 360 Elektro magnetische flowtransmitter

- Geschikt voor schone, vervuilde, agressieve vloeistoffen of slurrie
- Doorlaat opnemer 1 tot 3000 mm
- Nauwkeurigheid kleiner dan $\pm 0,5\%$
- Meetverhouding 1 : 100
- Geen drukverlies

Werking



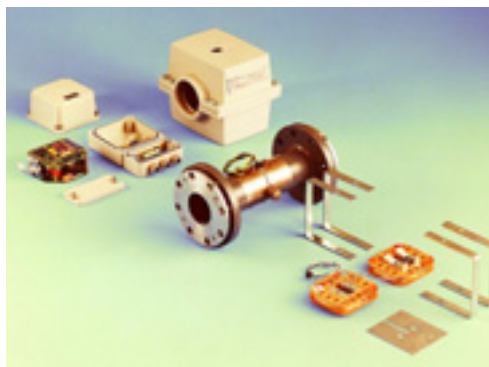
Figuur 361 Principe EMF-transmitter

De Elektro Magnetische Flow-transmitter, meestal EMF-transmitter genoemd, werkt volgens de inductiewet van Faraday. In een elektrische geleider die zich beweegt in een magnetisch veld, wordt een elektrische spanning opgewekt (werking dynamo). Bij een EMF-meter is die geleider de door de buis stromende vloeistof. Het magnetisch veld in de meetbuis wordt door twee, buiten de buis geplaatste spoelen opgewekt. Met twee geïsoleerd opgestelde elektrodes in de wand van de meetbuis wordt de geïnduceerde spanning gemeten. Om dit mogelijk te maken moet de buis wel aan de binnenzijde voorzien zijn van geïsoleerd materiaal. Zie **figuur 361**.

Voor de isolatie van de buis wordt bijvoorbeeld PTFE, PUR, hard rubber, emaille enz. toegepast en voor de elektroden niet-oxyderend materiaal. Hiermee is de meter bijzonder geschikt voor het meten van agressieve vloeistoffen. Door de open doorlaat wordt ook vervuilde vloeistof of slurry probleemloos gemeten. Vaste delen in de vloeistof worden meegemeten. Met een gladde meetbuis zonder dode hoeken is de meter bijzonder geschikt voor toepassingen in de voedselindustrie.



Figuur 362 Constructie EMF-transmitter



Figuur 363 Constructie EMF-transmitter

Zoals aangegeven dient de vloeistof, die in het magnetisch veld beweegt, een geleider te zijn. Hiertoe dient de vloeistof een minimale geleidbaarheid te hebben van 5 m Siemens/cm.

De geïnduceerde spanning (U_i) die door de meetvormer wordt gemeten is:

$$U_i = B \cdot L \cdot v$$

Daarin zijn:

- B: sterkte van het magnetisch veld (inductie)
- L: lengte van de geleider (afstand tussen de elektroden)
- v: snelheid van de geleider (flow van de vloeistof)

Omdat L door de bijbehorende buisdiameter constant is en het magnetisch veld door de elektronica ook constant gehouden wordt, zal de gemeten spanning U_i evenredig verlopen met de snelheid van de vloeistof, signaalwaarde $U \leq 1\text{mV}$. De transmitter kan hierdoor een uitgangssignaal van 4 tot 20 mA geven evenredig aan de flow.

De eindwaarde (100%) van het meetbereik kan worden ingesteld tussen stroomsnelheden 0,5 en 10 m/sec. De flowmeting werkt onafhankelijk van temperatuur, druk, dichtheid, viscositeit en geleidendheid van de vloeistof.

Aansluiting



Figuur 364 EMF-transmitter met sanitaire aansluitingen

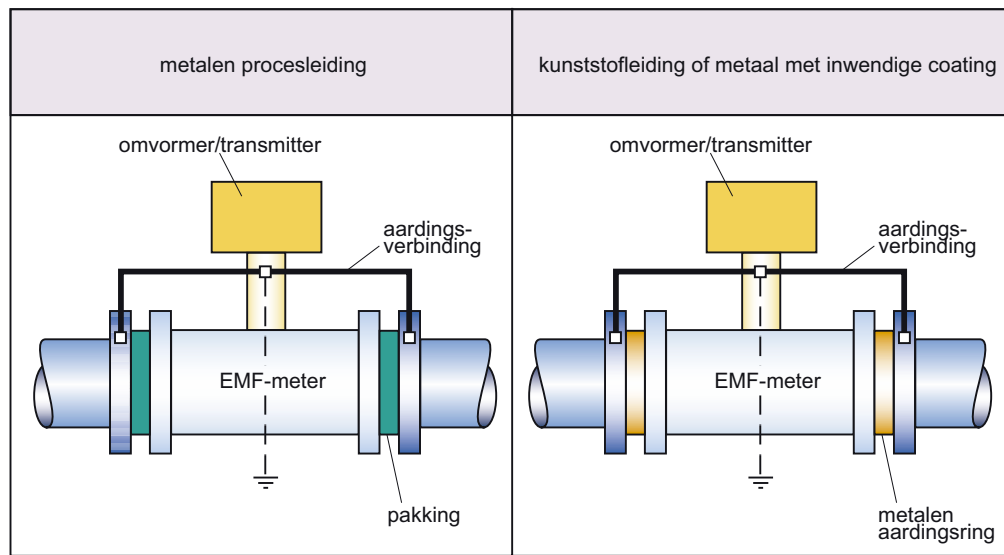
De EMF-flowmeters worden geleverd in de doorlaten 1 tot 3000 mm. Afhankelijk van de afmeting of montage wordt een flens- of schroefverbinding gebruikt. Zie **figuur 364**.

De meter kan overal in het leidingsysteem worden ingebouwd waar geen luchtinsluiting voorkomt. Bij voorkeur verticaal. Om de invloed van turbulenties van kleppen, schuiven en bochten tegen te gaan wordt bij inbouw minimaal 3 tot 5 maal de leidingdiameter als rechte lengte vóór de meter aangehouden. De meter heeft in de regel dezelfde diameter als het leidingsysteem en geeft derhalve nauwelijks drukverlies. De meter is obstructievrij, heeft geen bewegende delen en is onderhoudsvrij.

Aarding

Het spanningssignaal dat in de EMF-meter door de meetelektroden wordt gemeten, is ongeveer 1mV. Om een zo klein spanningsverschil nauwkeurig en zonder verstoring te kunnen meten, is een exact referentie nulpunt nodig. Een goede potentiaalvereffening en aarding is bij dit type meting daarom erg belangrijk.

In **figuur 365** ziet u twee voorbeelden om potentiaal vereffening en aarding te realiseren. Bij kunststofleidingen of inwendig gecoate metalen leidingen moeten extra aardingsringen tussen de flensverbinding worden toegepast. Dit om potentiaalverschillen tussen procesvloeistof en EMF-meter en aardleiding te vereffenen.



Figuur 365 Potentiaal vereffening en aarding

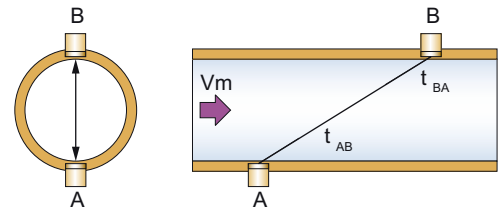
Ultrasone flowtransmitter



Figuur 366 Ultrasone flowtransmitter in proces

- Geschikt voor schone vloeistoffen of gasen
- Doorlaat 25 tot 3000 mm (water)
- Doorlaat 50 tot 600 mm (gas)
- Nauwkeurigheid $\pm 1\%$
- Meetverhouding 1 : 25
- Geen drukverlies
- Onafhankelijk van soortelijke massa, viscositeit of geleidendheid van medium
- Niet gevoelig voor druk, wel voor temperatuur

Werking

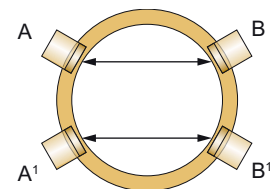


Figuur 367 Principe ultrasone flowmeting

Ultrasoon betekent dat de frequentie van verzonden signalen zo hoog is dat wij deze niet kunnen horen. De werking van ultrasone meters berust op de eigenschap dat signalen stroomafwaarts sneller gaan dan stroomopwaarts. Twee sensoren (zender / ontvanger) zijn aan weerszijde van een pijpwand aangebracht. Het ultrasone signaal wordt van sensor A stroomafwaarts door het te meten medium naar ontvangsensor B gestuurd. Als sensor B het signaal heeft ontvangen, zendt deze vervolgens een signaal stroomopwaarts terug naar sensor A. Beide tijden worden gemeten. Het verschil in looptijd is een maat voor de stroomsnelheid en dus bij een bekende leidingdiameter voor de flow.

Opgave

362. Wat voor invloed hebben luchtballen of vaste bestanddelen, in het te meten medium, op het signaal?



Figuur 368 Principe ultrasone flowmeting (double beam)

Om de invloed van het flowprofiel in de leiding kleiner te maken, kan gekozen worden voor een uitvoering met een dubbele meting (double beam), eventueel tot 5 straal toe. Zie **figuur 368**.

De elektronica rekent nu met het gemiddelde van de twee metingen. Deze uitvoering wordt met name toegepast bij zeer turbulente stromingen.

Aansluiting

De aansluiting op het proces is een flensverbinding in diverse maten. Zie **figuur 369**. De diameter van de meetbuis komt overeen met die van het leidingsysteem. Er is geen obstructie en dus geen drukverlies. Door het ontbreken van bewegende delen is de meting onderhoudsvrij.



Figuur 369 Aansluiting ultrasone flowtransmitters



Figuur 370 Ultrasone opnemers recht tegenover elkaar geplaatst, geen reflectie via de buiswand

Massa flowtransmitter (coriolis)

De massaflowtransmitter wordt veel gebruikt in de voedingsmiddelen-, chemische-, en geneesmiddelenindustrie. De massaflowmeter wijkt af van standaard flowmeters omdat het een echte massaflow meet (massa/tijd) in plaats van volume/tijd.



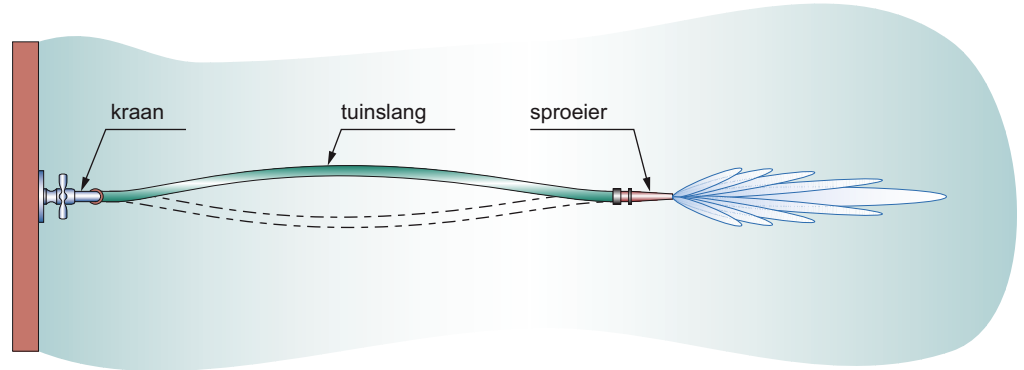
Figuur 371 Massa flowtransmitter

- Massameting (kg/s)
- Meting voor schone vloeistoffen en gassen
- bereiken tussen 1 kg/h en 2200 ton/h (DN1 t/m DN250)
- Nauwkeurigheid $\pm 0,2\%$ (vloeistof)
- Nauwkeurigheid $\pm 0,5\%$ (gas)
- Meetverhouding 1 : 20

Werking

De werking lijkt verschrikkelijk moeilijk, maar het principe is eenvoudig. Er zijn eigenschappen in de stroming waar we mee te maken krijgen. Deze worden bekeken aan de hand van een tuinslang.

We leggen de tuinslang volgens **figuur 372** op de grond. Nu draaien we de kraan steeds verder open. De slang wil zich nu gaan strekken. Deze neiging wordt sterker naarmate de flow groter wordt.

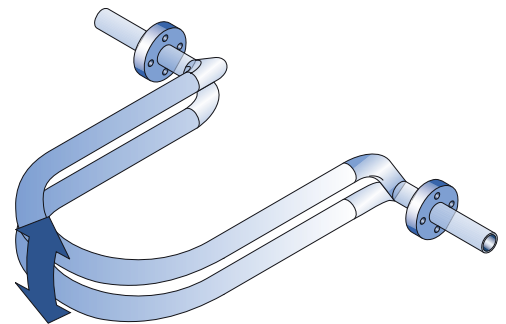


Figuur 372 Tuinslang

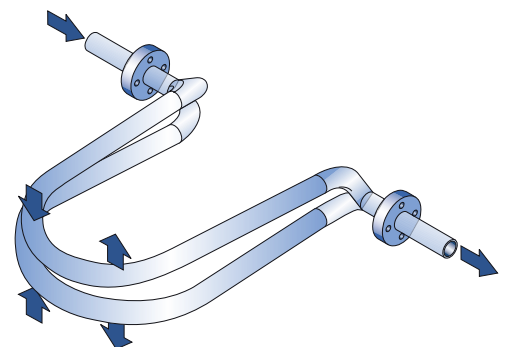
Dit hangt echter niet alleen af van de snelheid van de vloeistof, maar ook van het gewicht. Stel dat u de kraan open laat staan en de sproeier dichtdraait. De slang zit dan nog vol water. U gooit, terwijl u bij de sproeier staat de slang om (gestippelde lijn in **figuur 372**). Als de slang gevuld is met water kost dit meer energie, dan wanneer hij leeg is. Dus massa kost energie. Hoe zwaarder de vloeistof (soortelijke massa) des te meer energie is er nodig voor het omgooien.

De massaflowtransmitters maken gebruik van deze verschijnselen. Ze bevatten buizen, die in trilling worden gebracht om een continue meting te verkrijgen. Zie **figuur 373**.

Het te meten medium stroomt door twee buizen die trillen. De trilling wordt aangestuurd door een magneetspoel met zo'n 80 bewegingen per seconde. Omdat de energie hiervoor constant is, zal bij een lichte vloeistof de uitslag van het trillen veel groter zijn dan bij een zware vloeistof. Gaat die vloeistof ook nog stromen, dan komt daar het strekeffect van de buis (tuinslang) bij. Hierdoor wordt de buis door de zogenaamde Corioliskrachten getordeerd (zie **figuur 374**).

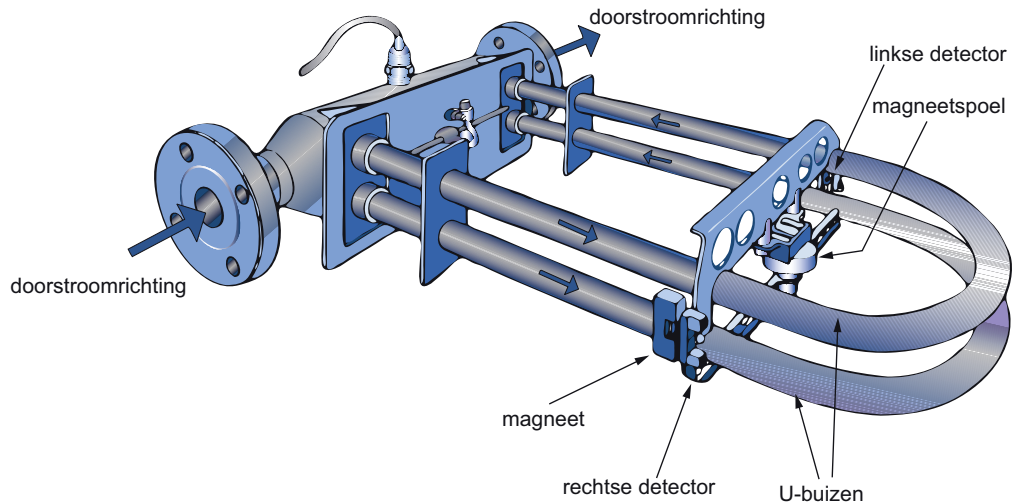


Figuur 373 U-vormige buizen



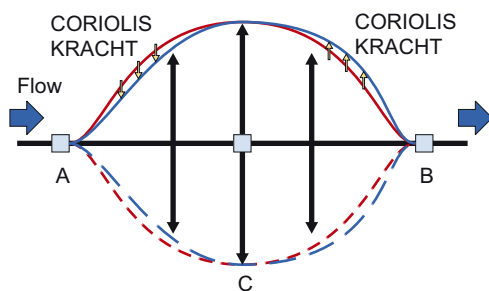
Figuur 374 U-vormige buizen

Door de uitslag en het scheeftrekken van de buizen met detectoren te meten, kan de transmitter de verplaatste massa per tijdseenheid bepalen en omzetten in een standaard signaal van 0(4) - 20 mA. In **figuur 375** zorgt de magneetspoel voor het trillen van de buizen.



Figuur 375 Constructie U-vormige buizen

In een andere uitvoering zijn in plaats van u-vormige, rechte, buizen toegepast. De vervorming ziet er dan uit als in **figuur 376**. In het traject A – C, zien de coriolis krachten, veroorzaakt door de vloeistofstroom, er anders uit dan in het traject C – B.



Figuur 376 Uitslag van een rechte buis

Doordat er bij deze meting geen obstructies zijn is het drukverlies klein.

Aansluiting

Aansluitingen op een proces worden uitgevoerd met flensverbindingen. Zie **figuur 377** en **figuur 378**. Voor de kleine diameters worden ook wel schroefkoppelingen gebruikt.

De doorlaat van de aansluitingen ligt tussen de 0,8 en 350 mm terwijl een procesdruk tot 100 bar mogelijk is en de procestemperatuur tot 180°C mag oplopen.



Figuur 377 Aansluiting U-buis



Figuur 378 Aansluiting dubbel gebogen buis

Storingen en onderhoud transmitters op basis van stuwdrukmeting

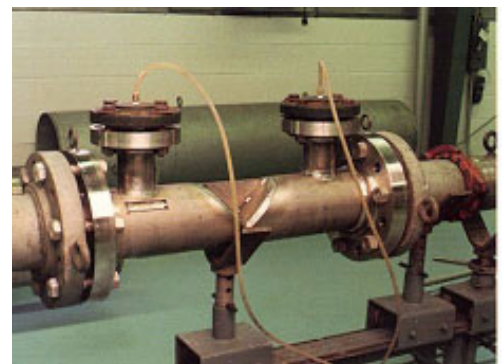
Storingen, onderhoud, inspectie, kalibreren en testen komen overeen met de drukverschiltransmitters.

Daarnaast komen problemen voor als het onvolledige vulling van meetleidingen of aanwezigheid van restanten. Ook afwijkingen in het product kunnen miswijzingen veroorzaken.

Opgaven

- 363.** Bij welk type flowtransmitters heeft een andere samenstelling van het medium invloed op de meetwaarde?
- 364.** Hoe signaleert u een verstopping in een leiding?
- 365.** Flowtransmitters moeten regelmatig geijkt worden. Noem een aantal factoren die een rol spelen bij het tijdsinterval tussen twee ijkingen.

Kalibreren / testen



Figuur 379 Testopstelling Flowmeter (Wedge flowmeter op basis van dP)

Met uitzondering van de stuwdrukmetingen kunnen de flowtransmitters nauwelijks in eigen beheer worden gekalibreerd of met voldoende nauwkeurigheid getest.

Deze activiteiten worden meestal door de leverancier of een gespecialiseerd bedrijf uitgevoerd. Eigen beheer van een ijkinginstallatie is een zeer kostbaar. Zelfs het in serie zetten van een controlemeter onder bedrijfsomstandigheden is zeer kostbaar.

Speciale toepassingen

Open kanaal meting

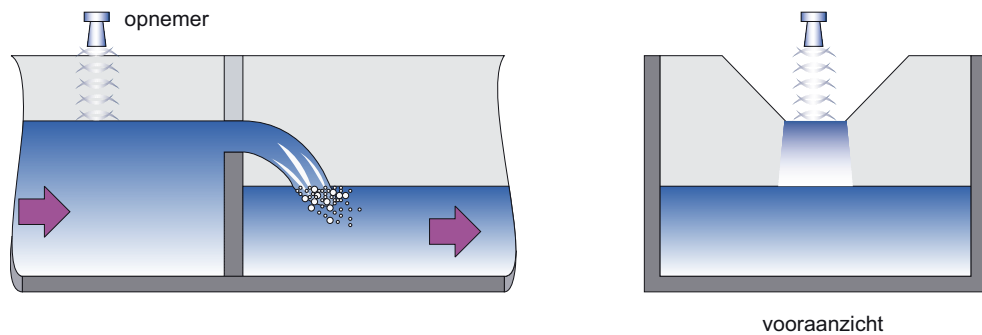


Metten van de flow in open kanalen kan met behulp van een ultrasonische niveautransmitter. Zo wordt op deze wijze de afvalwaterstroom gemeten in een zuiveringsinstallatie.

In de stroming is een overloopschot geplaatst waar het afvalwater via een V-vormige uitsparing uitstroomt. Zie **figuur 381**.

Bij een hoger niveau zal er meer afvalwater via het schot uitstromen. Het niveau is daarmee een maat voor de flow.

Figuur 380 Open kanaal monitor

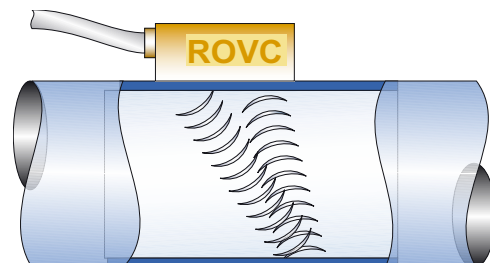


Figuur 381 Meetopstelling

Doppler flowmeting

Doppler flowmeters meten contactloos middels hoog frequent geluidssignaal. De sensor is uitwendig aan de meetbuis bevestigd en zendt continu het signaal via de buiswand het medium in. Het geluid wordt door vaste deeltjes of luchtbelletjes teruggekaatst naar de sensor. Zie **figuur 383**. Bij stroming van de vloeistof verandert de frequentie van het teruggekaatste signaal ten opzichte van het verzonden signaal. Deze frequentieverschuiving is een maat voor de snelheid in de meetbuis.

In tegenstelling tot de ultrasone flowmeting dient hier een zekere hoeveelheid vaste deeltjes in de stroom aanwezig te zijn. De meting is bijzonder geschikt voor vervuilde vloeistoffen. Door de uitwendige opnemer is beschadiging of vervuiling uitgesloten.



Figuur 383 Doppler meting



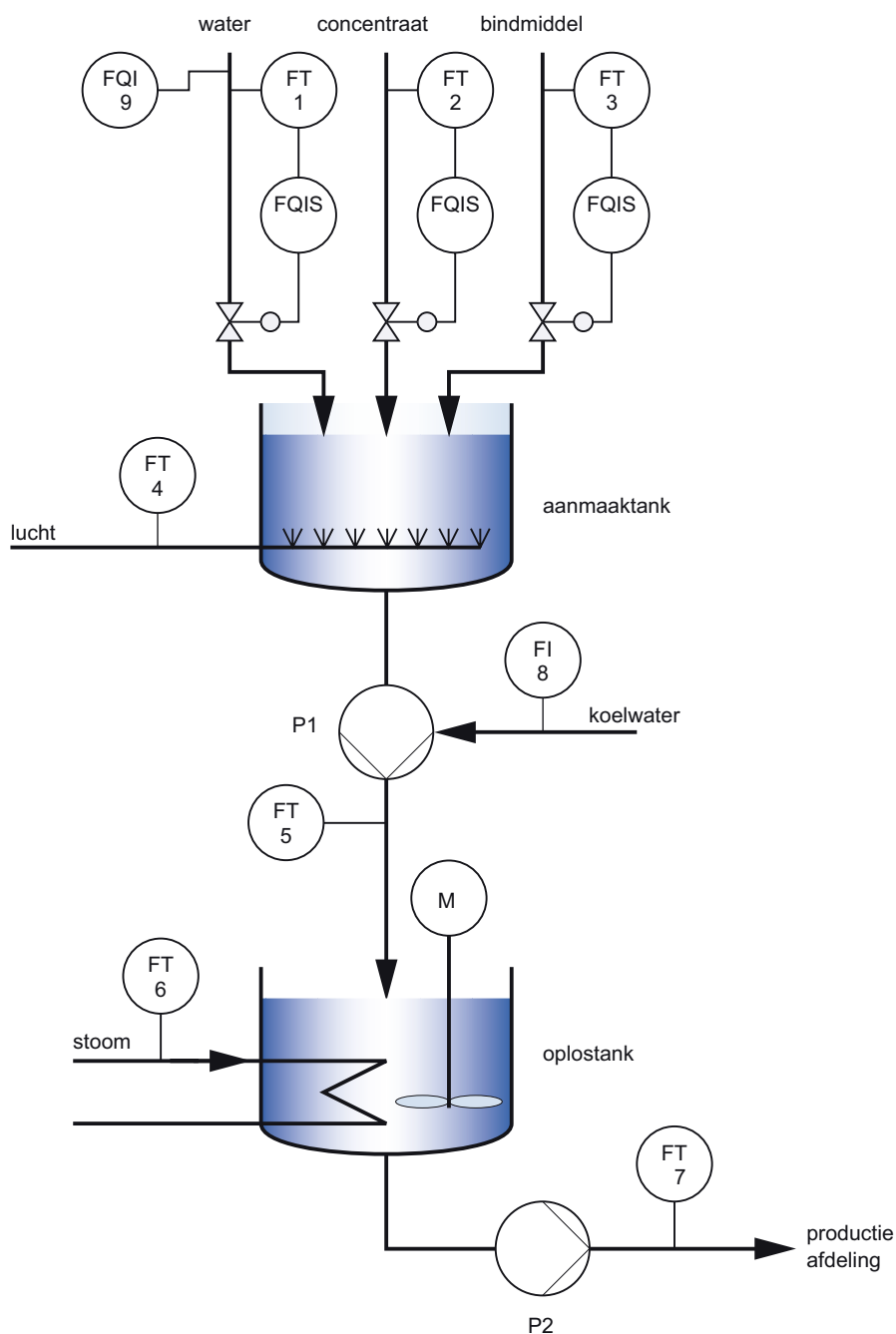
Figuur 382 Doppler flowmeter

Eindopdracht Flowtransmitters

In **figuur 384** ziet u een deel van een proces. In dit proces worden grondstoffen aangemaakt voor verdere verwerking in het bedrijf. In de aanmaaktank worden op recept water, concentraat en een bindmiddel gedoseerd. In de aanmaaktank worden de producten gemengd door er lucht door te blazen. Het mengsel wordt vervolgens overgepompt naar

de oplostank. Door het mengsel te verwarmen zullen de producten sneller mengen. Uiteindelijk wordt de oplossing naar het productieproces gepompt.

In dit schema zijn alleen de P&I-symbolen aangegeven die betrekking hebben op flowmetingen. Per meetpunt is in **figuur 385** de meetmethode aangegeven.



Figuur 384 Processchema

Meetpunt	Meetmethode
FT-1	Ultrasoon
FT-2	Turbine
FT-3	Massa
FT-4	Annubar
FT-5	EMF
FT-6	Meetschijf
FT-7	Vortex
FI-8	Vadometer
FQI-9	Watermeter

Figuur 385 Meetmethoden

Opgaven

- 366.** Bij de dosering van water komen lucht-bellen mee. Wat is de invloed hiervan op de meting FT-1?
- 367.** Wat is de betekenis van de functie FQIS?
- 368.** Transmitter FT-2 heeft een meetverhouding van 1:20. Wat is hiervan de betekenis? Waarom is hier voor dit meet-principe gekozen?
- 369.** Waarom wordt voor deze transmitter een filter geplaatst?
- 370.** Waarom doen druk en temperatuur er niet toe bij FT-3?
- 371.** Waarom is deze transmitter eenvoudig te reinigen?
- 372.** Wat is het voordeel van de meter van transmitter FT-4 t.o.v. een pitotbuis-meting?
- 373.** De koelwaterstroom naar pomp P1 wordt met een vadometer FI-8 gemeten. Wat meet een vadometer?
- 374.** Kan een vadometer ook worden toegepast in een horizontale leiding? Geef ook aan waarom.
- 375.** FT-5 is een elektromagnetische flowmeter. De leiding is niet volledig met het product gevuld. Is dat een probleem voor deze meting?
- 376.** Geef twee voordelen van dit meet-principe.
- 377.** Bij de stoommeting FT-6 wordt een meet-schijf gebruikt. Wat is het meetprincipe?
- 378.** Waarom werkt deze meting niet goed in het onderste deel van het meetgebied?

379. De drukverschiltransmitter FT-6 heeft zogenaamde vent/drain plugkraantjes op de meetkamers. Wat is hiervan de functie?

380. De vortex-meter FT-7 is direct na pomp P2 gemonteerd. Wat zijn de meetproblemen die hierdoor kunnen ontstaan? Geef ook aan hoe deze kunnen worden voorkomen.

381. Wat meet FQI-9?

Hoofdstuk 12 Temperatuurtransmitters

Inleiding

In de industrie wordt vaak de temperatuur gemeten. Immers het verloop van heel veel processen (waaronder chemische reacties) is sterk temperatuurafhankelijk. Een goede temperatuurmeting is vaak een eerste vereiste voor een juiste procesbeheersing. Maar wanneer hebben we een goede temperatuurmeting? Meetfouten zijn vooral bij temperatuurmetingen snel gemaakt.

In dit hoofdstuk komen aan de orde:

- Begrip temperatuur
- Temperatuurindicatoren
- Toepassing transmitters
- Kalibreren en testen
- Storingen en onderhoud
- Meetfouten (Installatie en traagheid van de opnemer)

Begrip temperatuur

De temperatuur van een stof heeft betrekking op de toestand (vast, vloeibaar of gas), waarin een stof zich bevindt. De temperatuur is een maat voor de totale kinetische energie van de moleculen van een stof. Indien men warmte

aan een stof toevoert, zal deze warmte (energie) gebruikt worden om de kinetische energie van de moleculen te vergroten (mits de stof niet in een andere fase overgaat). Verwar het begrip temperatuur niet met warmte (inhoud). In een liter water (temperatuur 90 °C) zit meer warmte dan in een kaarsvlam (temperatuur 300 °C). Het symbool voor temperatuur is T.

De officiële eenheid volgens het SI-stelsel is de Kelvin (K). Echter voor omgevingstemperaturen wordt de graad Celsius, (°C) gebruikt. Voor de Celsiuschaal is afgesproken, dat het nulpunt ligt bij het smeltpunt van zuiver ijs en het punt 100 °C bij het kookpunt van zuiver water bij een druk van 1013 millibar. De graad Celsius is het honderdste deel van het temperatuurverschil tussen deze beide vaste punten. In wetenschappelijke publicaties en berekeningen wordt de Kelvinschaal gebruikt. Deze heeft een absolute temperatuurschaal, omdat het nulpunt overeenkomt met de laagst mogelijke temperatuur van -273 °C. Dus komt 0 °C overeen met 273 K en 100 °C komt overeen met 373 K. Zie **figuur 386**.

°C	K	°F	
100	373	212	kookpunt water
0	273	32	smeltpunt ijs
-100	173	- 122	
-200	73	- 302	
-273	0	- 434	

Figuur 386 Vergelijking temperatuurschalen

In Engeland en de U.S.A. is de Fahrenheit-schaal nog in gebruik. We vergelijken deze schaal met de Celsiuschaal:

0 °C komt overeen met 32 °F

100 °C komt overeen met 212 °F

Voor de liefhebbers volstaan we met de omrekenformules voor graden Celsius en graden Fahrenheit:

$$^{\circ}\text{F} = 9/5 \times ^{\circ}\text{C} + 32$$

$$^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32) \times 5/9.$$

Om de zaak overzichtelijk te houden, beperken wij ons in deze cursus tot de graad Celsius en in een aantal gevallen tot Kelvin.

Voor het meten van temperaturen wordt gebruik gemaakt van verschillende temperatuur afhankelijke eigenschappen van stoffen, zoals:

- verschil in uitzetten van stoffen bij verwarming.
- verandering van elektrische weerstand bij verandering van temperatuur.
- veranderende thermo-elektrische spanning tussen twee metalen bij veranderende temperatuur.
- stralingsenergie die uitgezonden wordt.

Indicators en transmitters

Op diverse plaatsen in het proces is het belangrijk de temperatuur terplekke te kunnen aflezen. Hiervoor worden indicators zoals thermometers geplaatst. Voor aflezen, registreren of regelen op afstand worden transmitters ingezet.

Bepalend voor het type temperatuurtransmitter of indicator zijn:

- gevraagde nauwkeurigheid
- reactiesnelheid
- robuustheid

Opgaven

382. Waarom wil men de temperatuur van sommige processen zeer nauwkeurig weten?

383. Teken het P&I-symbool voor een temperatuurindicator.



Figuur 387 Vloeistofgevulde thermometer



Figuur 388 Pt-100 of thermokoppel opnemer



Figuur 389 Pt-100 of thermokoppeltransmitter



Figuur 390 Infrarood transmitter



Figuur 391 Temperatuurtransmitter

Indicators **Bimetaal thermometer**

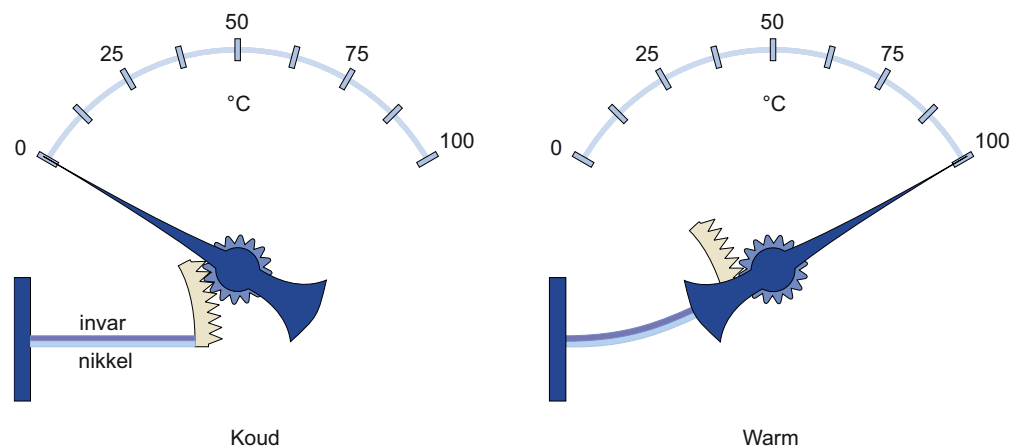
- Robuuste uitvoering
- Toepassingsgebied: -50 tot 600 °C
- Nauwkeurigheid: $\pm 1\%$
- Schaaldiameter: 63 tot 160mm
- Insteeklengte: 63 tot 500mm
- Goedkoop



Werking

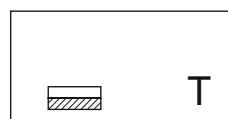
Metalen hebben een lineaire uitzettingscoëfficiënt. Dat wil zeggen dat zij evenredig met de temperatuurverandering uitzetten. Bij een bimetaalthermometer (bi betekent twee) zijn twee verschillende metalen tot een strip of band op elkaar gewalst. De werking berust op het feit dat de uitzetting van de materialen verschillend is. Meestal worden nikkel en invar gebruikt. Nikkel heeft een groot lineair uitzettingscoëfficiënt terwijl dat van invar klein, zelfs te verwaarlozen is. Bij verwarming zal het bi-metaal kromtrekken. Zie **figuur 393**.

Figuur 392 Bi-metaal thermometer

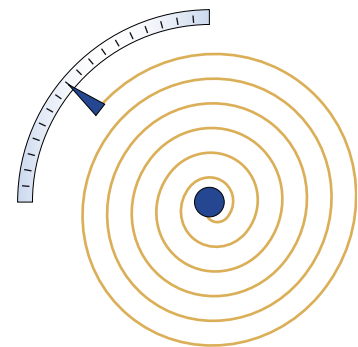


Figuur 393 Werking bi-metaal thermometer

De mate van kromtrekken is afhankelijk van de temperatuurverandering. Om een grote uitslag te verkrijgen, wordt een langere strook bi-metaal tot een vlakke of lang gerekte spiraal opgerold. zie **figuur 395**.



Figuur 394 Installatiesymbool bimetaal thermometer

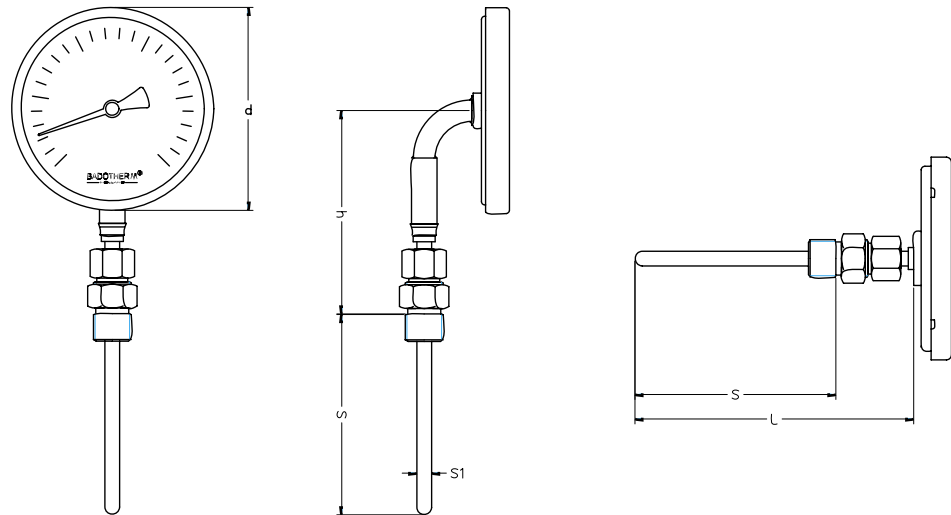


Figuur 395 Spiraalvormig bi-metaal

Aansluiten

In luchtkanalen kan de meter direct middels een schroefnippel op het proces worden aangesloten. In vloeistoffen dient de opnemer door een beschermbuis (thermowell) te worden beschermd. (thermowells worden later in dit hoofdstuk behandeld)

De meter moet ook goed afgelezen kunnen worden. Hiervoor zijn er verschillende uitvoeringen. Zie **figuur 396**.



Figuur 396 Uitvoeringen bi-metaal thermometers

Glazen vloeistofthermometer



Figuur 397 Glazen thermometer

- toepassing in machines, verwarmingsinstallaties
- geschikt als ijkthermometer nauwkeurigheid $\pm 0,1\%$
- toepassingsgebied -200 tot $+600$ °C
- breekbaar

Werking

Glazen thermometers zijn met een vloeistof gevuld. De vloeistof in een reservoir zet meer uit bij verhoging van temperatuur dan het glazen reservoir en wordt in een nauw busje geperst. Langs dit busje is een schaalplaat aangebracht. Zie **figuur 397**.

De vloeistoffen die zoal gebruikt worden, zijn alcohol voor lage temperaturen (-110 tot 50 °C), pentaan (-200 tot $+20$ °C), toluol (-70 tot $+100$ °C), tot 200 °C blauwe vloeistofvulling (-39 tot 360 °C) kwik.

Aansluiten

De glazen vloeistofthermometer wordt aangesloten met een schroefdraadaansluiting (bijvoorbeeld G $\frac{1}{2}$ ") en altijd in een beschermhuis.

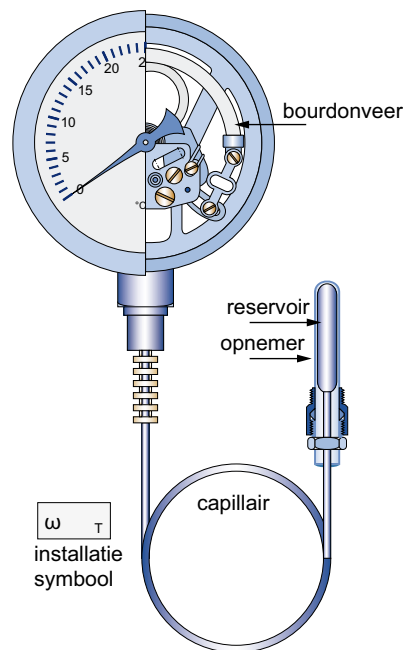
Metalen vloeistofthermometer



Figuur 398 Vloeistofgevulde thermometer met capillaire leiding

- Toepassingsgebied: -200 tot + 800°C
- Nauwkeurigheid: $\pm 1\%$
- Schaaldiameter: 100 en 160mm
- Lengte capillair 10-20 meter

Werking



Figuur 399 Werking vloeistofthermometer

Een reservoir (opnemer) is gevuld met een vloeistof (olie). Bij temperatuurverhoging zal deze vloeistof in het reservoir uitzetten. Deze drukverhoging wordt vervolgens door een bourdonveer omgezet in een temperatuur uitlezing. Zie **figuur 399**.

Om de invloed van de omgevingstemperatuur zo klein mogelijk te houden, heeft het reservoir van de opnemer een grotere inhoud dan de rest van de thermometer (capillair en bourdonveer).

Deze metalen vloeistofthermometer is robuuster dan de glazen vloeistofthermometer en daarom geschikter voor een industriële omgeving. De opnemer kan op een moeilijk bereikbare plaats de temperatuur opnemen. Via het capillair kan de uitlezing van de temperatuur op een beter bereikbare plaats in het zicht worden afgelezen. Er is ook een gasgevulde uitvoering die op dezelfde werking berust. De bourdonveer is dan vervangen door een balg.

Aansluiten

Er zijn verschillende uitvoeringen van het afleesgedeelte van de meter. Als de meter direct bij het meetpunt wordt afgelezen, wordt de meter vast gemonteerd aan de opnemer met een zeer kort capillair als verbinding. Via de flexibele capillaire leiding kunnen echter ook tussen meetpunt en afleespunt afstanden van 10 en 20 meter worden overbrugd. Dat gaat wel ten koste van de nauwkeurigheid.

Storingen en onderhoud temperatuur-indicators

Opgaven

384. Wat zijn volgens u de meest voorkomende storingen bij temperatuur-indicators?

385. Waar let u op als een indicator moet worden vervangen na een storing?

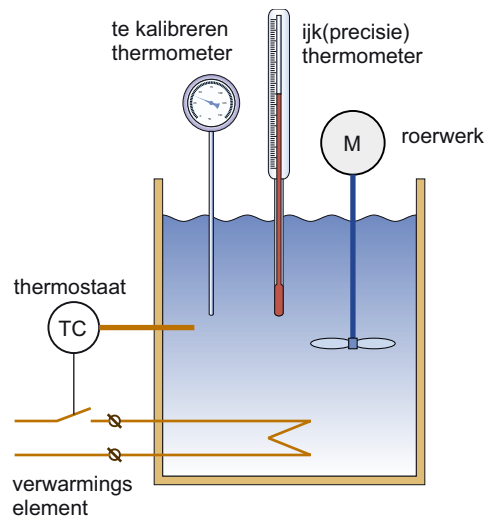
386. Vul in de onderstaande tabel twee onderhoudspunten in.

Onderhoudspunten	Toelichting

387. Waarop inspecteert u temperatuur-indicatoren? Vul onderstaande tabel in.

Inspectiepunten	Norm	Actie bij afwijking

Kalibreren / testen temperatuur-indicators



Figuur 400 Testopstelling voor temperatuur-indicators

Kalibreren wordt uitgevoerd in een testopstelling. Zie **figuur 400**.

Kalibreren

De thermostaatbak wordt gevuld met thermische olie.

- Het roerwerk zorgt voor een goede warmteverdeling door de bak
- De te kalibreren meter wordt met het temperatuurgevoelige deel op de juiste diepte in de bak gestoken zoals aangegeven in de gebruiksaanwijzing

- De ijkthermometer dient minimaal een klasse nauwkeuriger te zijn dan de te kalibreren meter
- Stel de temperatuur op de thermostaat in op een lage waarde
- Wacht tot de temperatuur stabiel blijft op de ingestelde waarde
- Vergelijk de twee aanwijzingen met elkaar
- Bij afwijking kan, indien aanwezig, het nulpunt van de te kalibreren meter versteld worden
- Stel de temperatuur op de thermostaat in op een waarde hoog in de schaal van de te kalibreren meter
- Om het kalibreren sneller uit te voeren, kan ook een tweede thermostaatbak gebruikt worden
- Bij afwijking kan, indien aanwezig, de span van de te kalibreren meter versteld worden
- Vorige punten herhalen totdat de afwijking binnen de nauwkeurigheidsgrenzen ligt
- Handeling herhalen op een aantal tussenliggende schaalwaarden

Opgemerkt dient te worden dat instellingen niet altijd mogelijk zijn op indicators. In een ijkgrafiek kunnen de afwijkingen worden vastgelegd die op de diverse punten op de schaal zijn waargenomen.

Bij afwijkingen groter dan de nauwkeurigheidsgrens zal in veel gevallen de meter worden vervangen omdat reparatie of afstelling niet mogelijk zijn of te duur worden

Transmitters

Bij temperatuurtransmitters zijn er drie verschillende natuurkundige principes waarop het meetelement de temperatuur kan opnemen:

- verandering van elektrische weerstand onder invloed van temperatuurveranderingen (Pt-100 element)
- verandering van elektrische spanning tussen twee verschillende, met elkaar verbonden metalen onder invloed van temperatuurverschillen (thermokoppel)
- verandering van de hoeveel energiestraling (infraroodstraling) die een materiaal afgeeft onder invloed van temperatuur (Pyrometer)

Van deze drie type temperatuurmetingen en transmitters worden de volgende aspecten uitgelegd: werkingsprincipe, aansluitingen, storingen/onderhoud en calibratie.

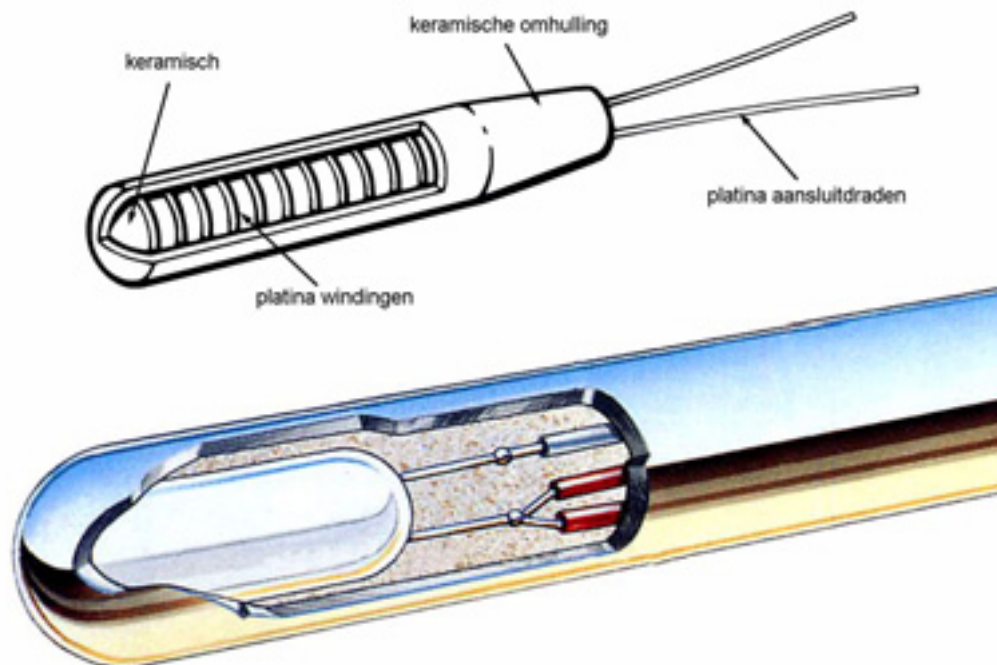
Meetelement op basis van weerstandsverandering

De weerstandtemperatuuropnehmer berust op een bekende eigenschap van zuivere metalen. Deze metalen krijgen namelijk een hogere elektrische weerstand naarmate de temperatuur van het metaal hoger wordt. Platina is een metaal dat bij uitstek geschikt is. Het heeft een hoog smeltpunt (1760 °C) en een grote corrosiebestendigheid.

Hoewel platina bruikbaar is tot 1000 °C, wordt dit vanwege constructieve moeilijkheden niet gedaan. Het meetgebied voor platina opnemers gaat van -200 °C tot + 750 °C. Voor temperaturen boven 750 °C wordt wolfram als weerstandelement genomen.

Na platina komt nikkel het meest in aanmerking. De corrosiebestendigheid is kleiner dan die van platina, terwijl het meetgebied loopt van -50 °C tot 200 °C.

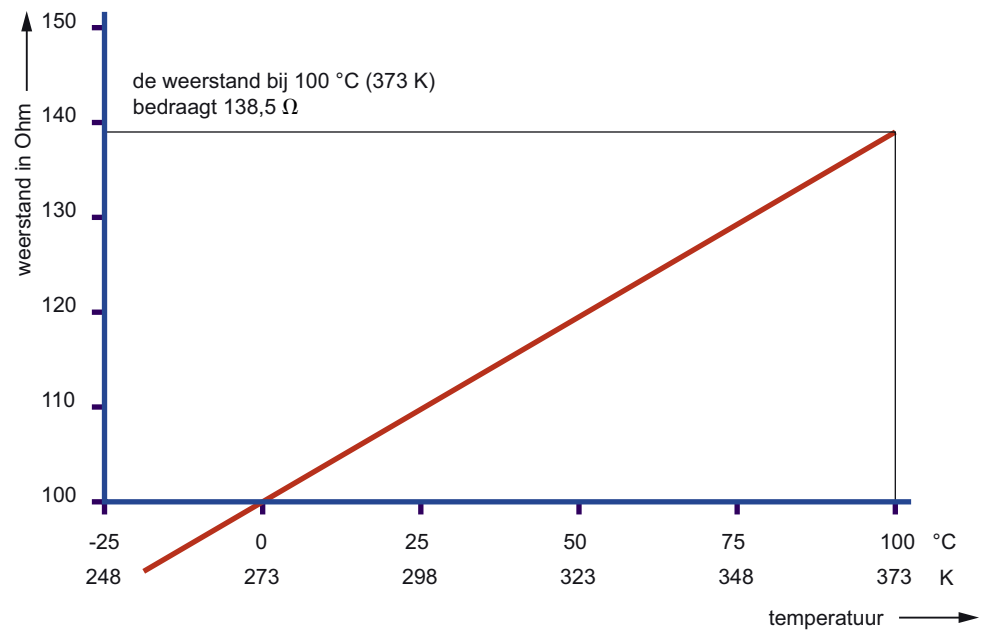
Bouw en afmetingen zijn genormaliseerd. Voor platina is bij 0 °C de weerstand exact 100Ω. In de praktijk wordt deze weerstandsoptreffer aangeduid als Pt-100. **Figuur 401** geeft een mogelijke constructie weer van een Pt-100 meetelement.



Figuur 401 Pt-100 element

Het weerstandverloop is nagenoeg lineair met het temperatuurverloop. Zie **figuur 402**.

In **figuur 403** ziet u het verloop van de weerstand als functie van de temperatuur van een Pt-100 element.



Figuur 402 Weerstandverloop als functie van de temperatuur van een Pt-100 element.

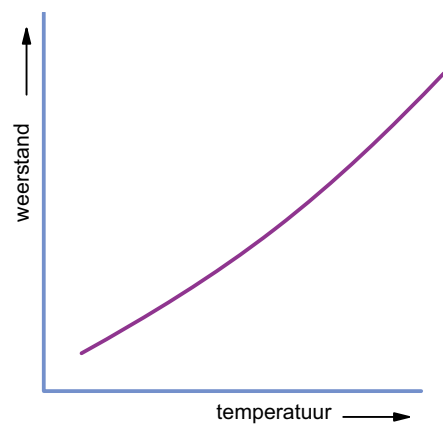
°C	Ω	°C	Ω	°C	Ω	°C	Ω	°C	Ω	°C	Ω
-220	10,41	-120	52,04	-20	92,13	75	128,98	175	166,62	275	203,09
-215	12,35	-115	54,09	-15	94,10	80	130,89	180	168,47	280	204,88
-210	14,36	-110	56,13	-10	96,07	85	132,80	185	170,32	285	206,68
-205	16,43	-105	58,17	-5	98,04	90	134,70	190	172,16	290	208,46
-200	18,53	-100	60,20	0	100,00	95	136,60	195	174,00	295	210,25
-195	20,65	-95	62,23	0	100,00	100	138,50	200	175,84	300	212,03
-190	22,78	-90	64,25	5	101,95	105	140,39	205	177,68	305	213,81
-185	24,92	-85	66,27	10	103,90	110	142,28	210	179,51	310	215,58
-180	27,05	-80	68,28	15	105,85	115	144,18	215	181,34	315	217,36
-175	29,17	-75	70,29	20	107,79	120	146,06	220	183,17	320	219,13
-170	31,28	-70	72,29	25	109,73	125	147,94	225	185,00	325	220,90
-165	33,38	-65	74,29	30	111,67	130	149,82	230	186,82	330	222,66
-160	35,48	-60	76,28	35	113,61	135	151,70	235	188,64	335	224,42
-155	37,57	-55	78,27	40	115,54	140	153,57	240	190,46	340	226,18
-150	39,65	-50	80,25	45	117,47	145	155,45	245	192,27	345	227,94
-145	41,73	-45	82,23	50	119,40	150	157,32	250	194,08	350	229,69
-140	43,80	-40	84,21	55	121,32	155	159,18	255	195,89	355	231,44
-135	45,87	-35	86,19	60	123,24	160	161,04	260	197,70	360	233,19
-130	47,93	-30	88,17	65	125,16	165	162,90	265	199,50	365	234,93
-125	49,99	-25	90,15	70	127,07	170	164,76	270	201,30	370	236,67

Figuur 403 Weerstandstabel voor Pt100-element

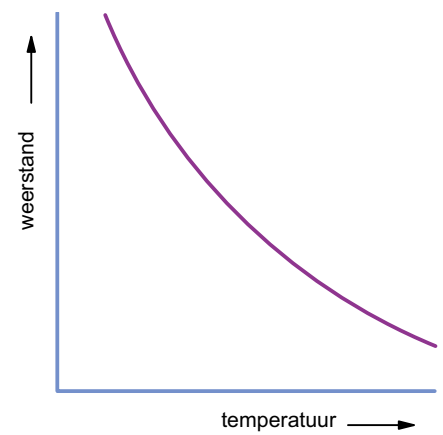
Thermistors

Naast de temperatuurvoelers van weerstandsdraad, zoals Pt-100 elementen, bestaan er ook temperatuurvoelers van halfgeleider materialen. Halfgeleider materialen kunnen zowel een positieve als negatieve temperatuurcoëfficiënt hebben. Positieve temperatuurcoëfficiënt (PTC) wil zeggen, dat bij toenemende temperatuur de weerstand van de halfgeleider toeneemt. Bij metalen is dit steeds het geval. Bij een negatieve temperatuurcoëfficiënt (NTC) neemt bij stijgende temperatuur de weerstand juist af.

Dat type weerstandstemperatuuropnemers worden thermistors genoemd. De temperatuurcoëfficiënt van thermistors is ongeveer tienmaal zo groot als bij metaalweerstand. Een nadeel is, dat het weerstandverloop niet lineair is bij een temperatuurverhoging of -verlaging. In **figuur 404** ziet u het verloop van de weerstand als functie van de temperatuur bij een PTC- en NTC-weerstand.



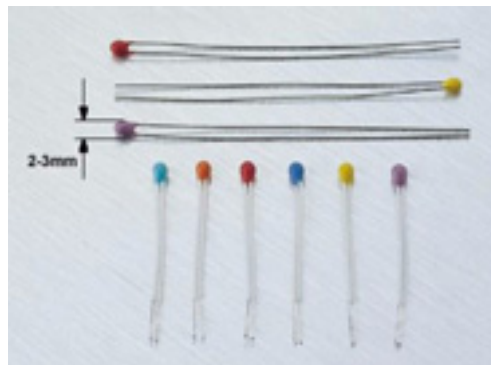
PTC-weerstand



NTC-weerstand

Figuur 404 Grafiek PTC- en NTC-weerstand

Thermistors zijn gemaakt van diverse halfgeleidermaterialen en daardoor verschillende temperatuur-weerstandprofielen. De afmetingen kunnen heel klein zijn (Zie **figuur 405**). Daarom zijn ze geschikt voor toepassing in elektronica componenten en thermische beveiligingen.

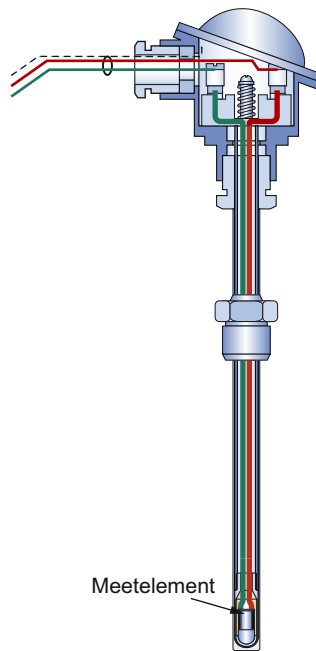


Figuur 405 Thermistors

Aansluiten Pt-100 meetelement aan de omvormer/transmitter

Het meetelement wordt aangesloten op een omvormer/transmitter (zie **figuur 406** en **figuur 407**) die vervolgens een standaard meet- en regelsignaal afgeeft

Een Pt-100 meetelement werkt op basis van weerstandsverandering. Het element wordt op een spanningsbron aangesloten die onderdeel is van de omvormer/transmitter. De verandering in weerstand van het meetelement kan op basis van twee verschillende principes worden vastgesteld; verandering van stroom of verandering van de spanning.

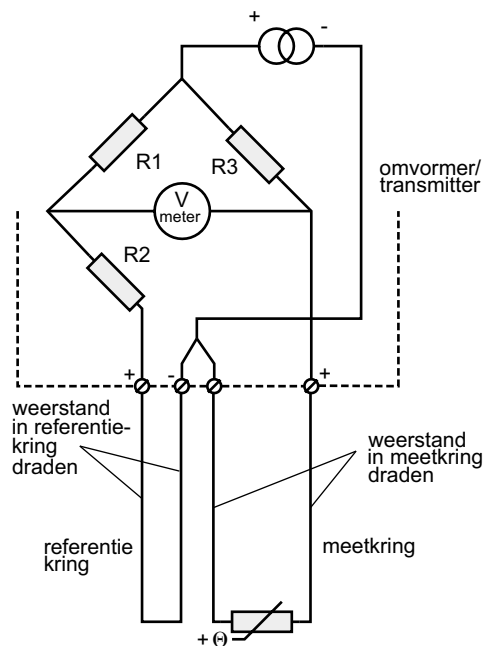


Figuur 406 Aansluiting Pt-100



Figuur 407 Omvormer/transmitters

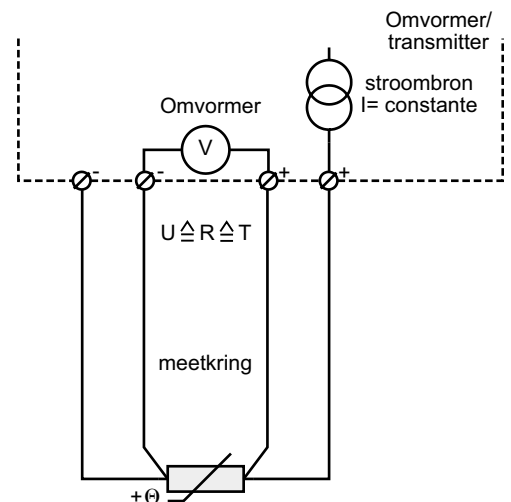
Bij een omvormer die werkt op basis van verandering in stroomsterkte wordt in de omvormer een zogenaamde brug van Wheatstone toegepast. Deze brugschakeling vergelijkt de stroom/weerstand in de meetkring met de stroom/weerstand waarden van een referentie stroomkring (zie **figuur 408**). Verandering van de weerstand in de (lange) aansluitdraden tussen het meetelement en de omvormer heeft ook invloed op de meting. Deze invloed moet ook in de referentiestroomkring worden meegenomen. Voor het meest eerlijke vergelijk moeten daarom de stroomdraden van de referentiestroomkring dezelfde weg afleggen naar het meetelement. Dit betekent dat er vier draden tussen de omvormer en het meetelement lopen. Er zijn echter ook opnemers en omvormers die werken met een driedraads of een tweedraads-systeem. Hierbij worden een aantal aansluitdraden gecombineerd. Dit is afhankelijk van het type/merk omvormer die wordt toegepast en de gewenste nauwkeurigheid. In de tabel in **figuur 410** staat een overzicht van de verschillende aansluitmogelijkheden.



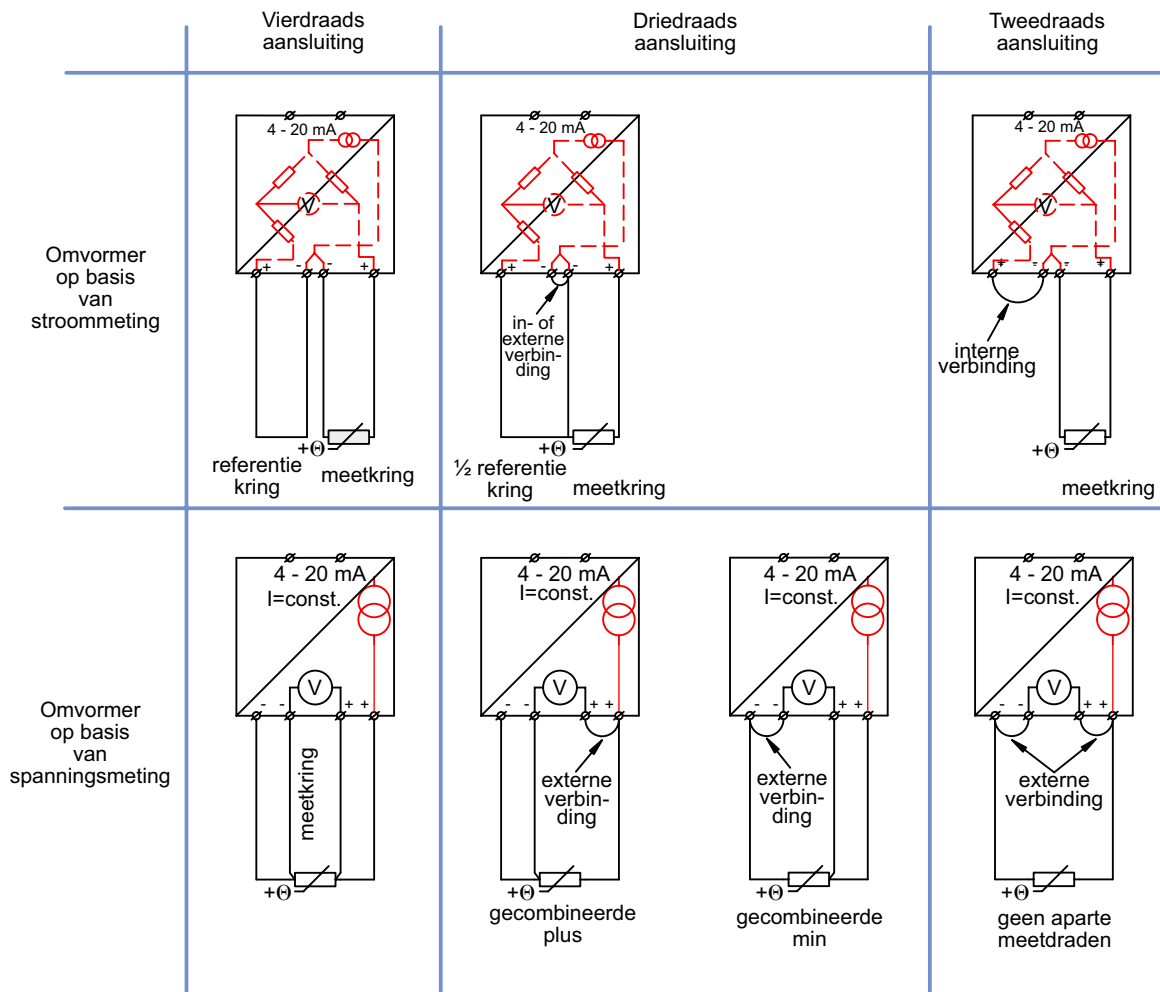
Figuur 408 Pt-100 met omvormer op basis van stroom en brug van Wheatstone

Bij een omvormer die werkt op basis van verandering in spanning wordt er een constante stroom door het meetelement gestuurd. Voor een optimale meting van de spanningsverandering over het meetelement worden twee extra meetdraden

gebruikt (zie **figuur 409**). Hierdoor wordt de meting niet beïnvloed door een spanningsverandering over de aansluitdraden van het meetelement. Ook hier kan bij de omvormer worden gekozen uit twee-, drie- of vier aansluitdraden. Zie voor een overzicht de tabel in **figuur 410**. De aansluitmethoden met twee of drie aansluitdraden worden toegepast als er geen extreme hoge eisen aan de nauwkeurigheid van de meting worden gesteld.



Figuur 409 Pt-100 met omvormer op basis van spanningsmeting



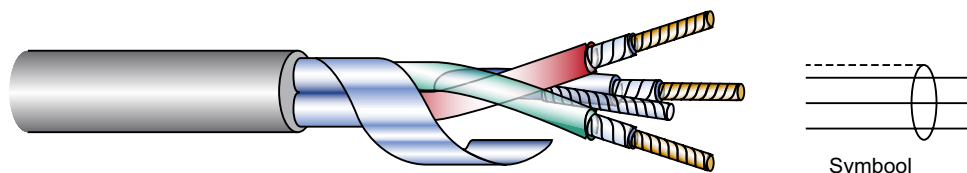
Figuur 410 Pt-100 aansluitingen op omvormer/transmitter

Pt-100 opnemers zijn grofweg in twee nauwkeurigheidsklasse te verdelen; klasse A is heel nauwkeurig, klasse B minder nauwkeurig.

Enkele vuistregels die de keuze van het type aansluiting bepalen:

- tweedraadsopnemer: klasse B, altijd kop-transmitter gebruiken

- driedraadsopnemer: klasse B is transmitter op afstand of bij klasse A een kop-transmitter
- vierdraadsopnemer: klasse A, zowel kop-transmitter als transmitter op afstand



Figuur 411 Afgeschermd kabel met drie aders

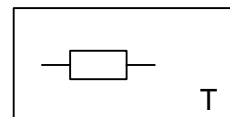
Voor de verbinding tussen de Pt-100 en de transmitter wordt speciale afgeschermd, getwiste kabel gebruikt zoals in **figuur 411**. Zo

wordt voorkomen dat stoorsignalen invloed hebben op het meetsignaal.



Figuur 412 Meetelement

De omvormer/transmitter kan gemonteerd zijn in de kop van het meetelement (zie **figuur 412**) maar ook los in de omgeving van de opnemer (zie **figuur 413**). De temperatuur kan dan ook lokaal worden uitgelezen. Een derde mogelijkheid is dat de transmitter in een standaard uitvoering (19" of DIN-rail) gemonteerd is in een schakelkast in de procesomgeving of centraal (zie **figuur 407**). Doordat de karakteristiek van de opnemer in de meetomvormer is geprogrammeerd, is de transmitter tevens in staat de geringe afwijking in lineariteit van de opnemer weg te werken.



Figuur 414 Installatiesymbool weerstandstemperatuuropnemer

- Toepassingsgebied: -200 tot 750 °C
- Nauwkeurigheid: 0,2%
- Uitgang 4 – 20 mA

Een Pt-100 kan ook rechtstreeks op een regelaar worden aangesloten. In de documentatie van de regelaar wordt de ingang aangegeven met een van de schema's uit **figuur 410**. De omvormer is dan onderdeel van de regelaar.

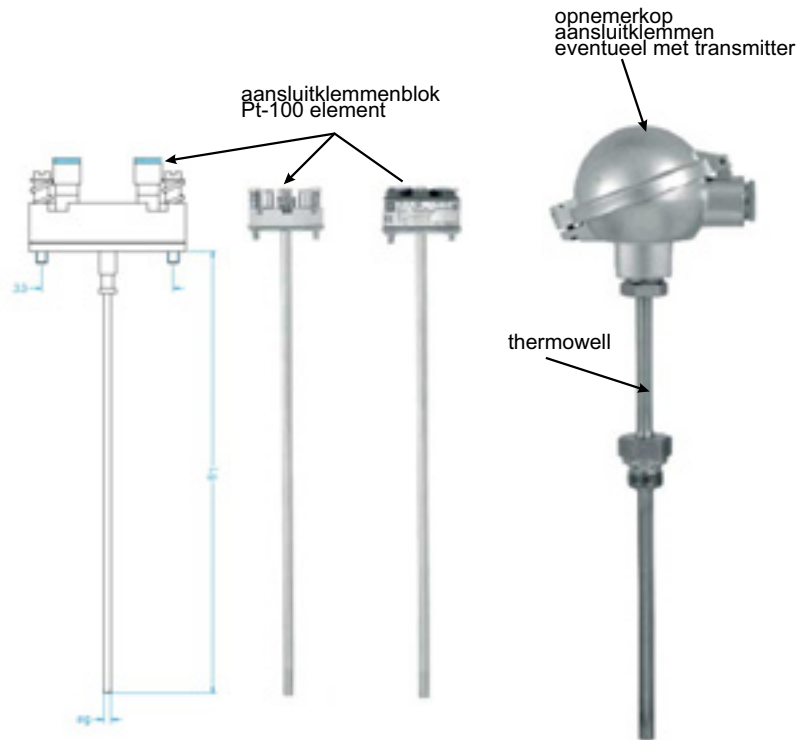


Figuur 413 Pt-100 transmitter

Montage

Voor montage wordt het Pt-100 element in een thermowell gestoken (zie **figuur 406** en **figuur 415**). De thermowell wordt in de tank of aan een leiding gemonteerd. Thermowells zijn uitgevoerd met verschillende montageverbin-

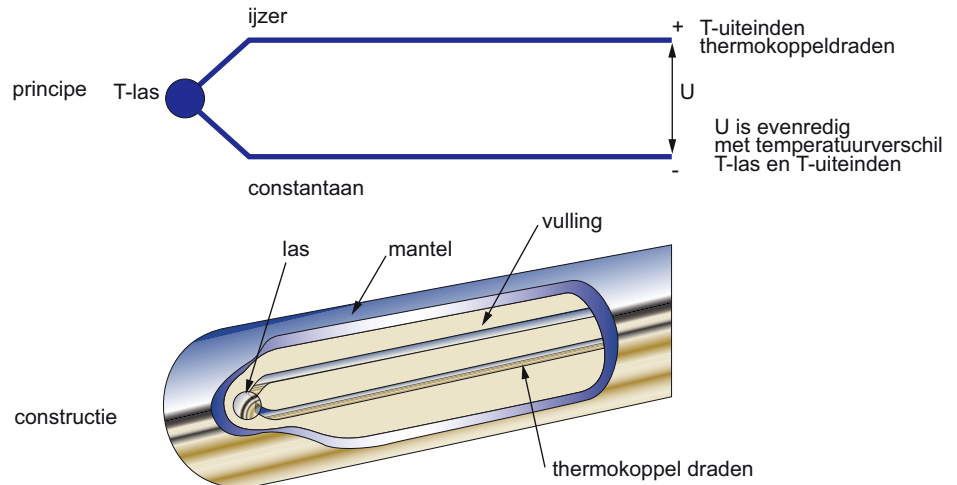
dingen zoals; knelkoppelingen, schroefverbindingen, flensverbindingen of lasverbindingen. Dit in verschillende afmetingen en insteekdieptes.



Figuur 415 Pt-100 element met aansluitklemmen in thermowell

Thermokoppel als meetelement

Naast temperatuurmetingen met een Pt-100 weerstandelement wordt er voor de hogere temperaturen (tot ca 1600 °C) gebruik gemaakt van thermokoppels. Een thermokoppel (zie **figuur 416**) bestaat uit twee metaaldraden van verschillend materiaal. Deze zijn aan één uiteinde aan elkaar gelast.



Figuur 416 Principe en constructie van de thermokoppel

Door de twee verschillende metalen en het temperatuurverschil tussen het laspunt en de uiteinde van de draden ontstaat er een spanningsverschil. Dit spanningsverschil is te meten is aan de uiteinde van de draden (zie **figuur 416**). Dit spanningsverschil heeft een

directe relatie met de temperatuur bij de las en daardoor is een thermokoppel geschikt als temperatuuropmeter. Stijgt de temperatuur van de las ten opzicht van de temperatuur aan de draaduiteinden dan stijgt ook de gemeten uitgangsspanning.

metaalsoorten van thermokoppel		temperatuurtoe- passingsgebied	Type aanduiding
		in °C	
koper	constantaan	-200 tot +350	T
ijzer	constantaan	-200 tot +750	J
platina met 13% Rhodium	platina	0 tot 1450	S
chromel	alumel	-185 tot 1250	K

Figuur 417 Gangbare type thermokoppels

Er zijn verschillende type thermokoppels afhankelijk van de combinatie van metaalsoorten die toegepast wordt (zie tabel in **figuur 417**). Elk type heeft een eigen temperatuurtoeappingsgebied. De grootte van de spanning is ook afhankelijk van het type thermokoppel. Thermokoppels die een relatief grote spanningsverandering geven in relatie tot de temperatuurverandering zijn het nauwkeurigst. Het verband tussen het temperatuur-

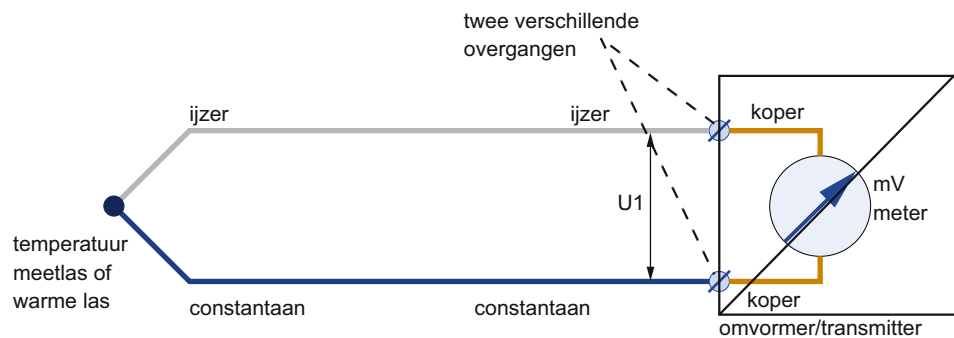
verschil en de spanning is niet lineair. Voor de veelgebruikte type thermokoppels wordt dit verband weergegeven in grafieken en tabellen (zie **figuur 421**).

Aansluiten van thermokoppel aan omvormer/transmitter

Het spanningssignaal van een thermokoppel wordt in een omvormer/transmitter omgezet in een standaard meet- en regelsignaal. Dit standaard signaal wordt verder gebruikt in een regelkring of voor een temperatuuruitlesing.

De punten waar de uiteinden van het thermokoppeldraad op de omvormer (meet het mV-signaal) aangesloten worden vormen twee nieuwe thermokoppels (zie **figuur 418**). Deze thermokoppels geven ook een spanning af. Deze spanning beïnvloed het signaal van de

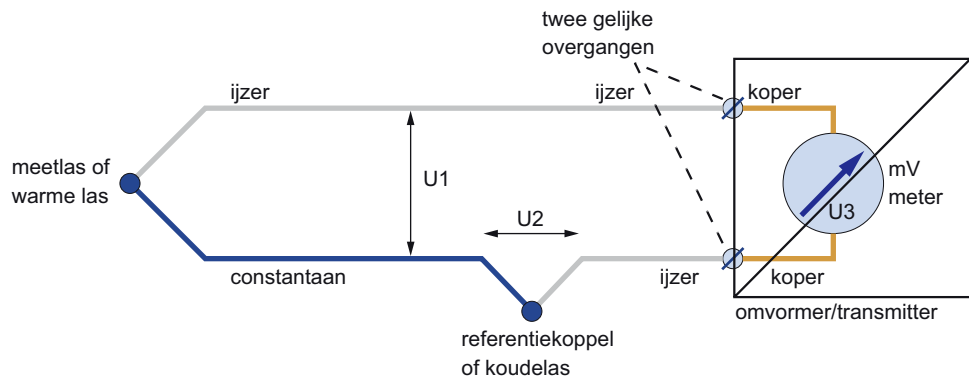
meetlas waardoor de mV-meter niet de waarde aangeeft die overeenkomt met de temperatuur van de meetlas. De mate waarin het spanningssignaal beïnvloed wordt is afhankelijk van de temperatuur bij deze aansluitpunten ten opzichte van de temperatuur bij de meetlas. Deze aansluitpunten worden referentielas genoemd of ook wel koudelas waarbij men ervanuit gaat dat de temperatuur lager is dan bij de meetlas wat niet altijd het geval is.



Figuur 418 Directe aansluiting thermokoppel aan meetinstrument

Om de invloed van deze referentielas vast te stellen en te vereffenen wordt een specifiek referentiekoppel gemonteerd (zie **figuur 419**). Door het toepassen van een referentiekoppel worden de aansluitpunten bij de omvormer identiek. De invloed op de meetwaarde van beide is tegengesteld en heffen elkaar op. Door het externe referentiekoppel op een vaste, bekende temperatuur te houden is de invloed hiervan (U_2) op de gemeten waarde (U_3) bekend. De meetwaarde U_3 kan nu worden gecompenseerd zodat de correcte

spanning U_1 bekend is en daarmee de werkelijke temperatuur van de meetlas. Een veelgebruikte referentietemperatuur is $0\text{ }^\circ\text{C}$ geldig voor smeltend ijs. Voor de gangbare thermokoppels zijn er tabellen beschikbaar met temperatuur van de meetlas met het overeenkomstig gemeten mV-signaal (U_3) geldig voor een referentiekoppeltemperatuur van $0\text{ }^\circ\text{C}$. In **figuur 420** ziet u een voorbeeld voor een ijzer-constantaan thermokoppel.



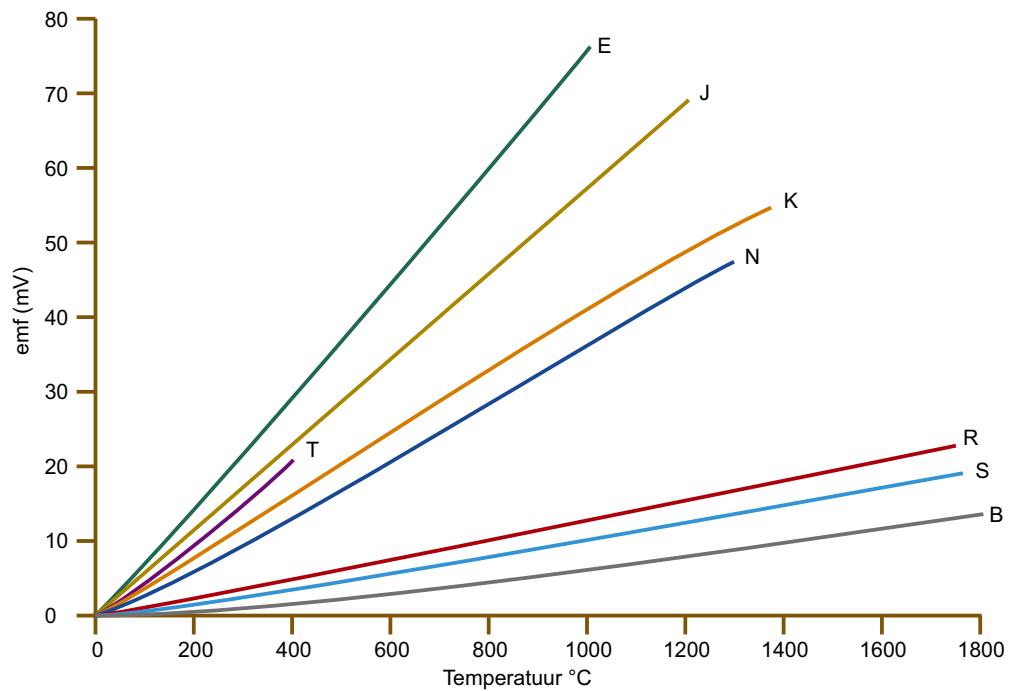
Figuur 419 Aansluiting thermokoppel met referentiekoppel aan meetinstrument

Referentie temperatuur 0 °C					
°C	mV	°C	mV	°C	mV
-200	-8,15	-50	-2,51	100	5,37
-190	-7,86	-40	-2,03	110	5,92
-180	-7,56	-30	-1,53	120	6,47
-170	-7,25	-20	-1,02	130	7,03
-160	-6,93	-10	-0,51	140	7,59
-150	-6,60	0	0,00	150	8,15
-140	-6,26	10	0,52	160	8,71
-130	-5,90	20	1,05	170	9,27
-120	-5,53	30	1,58	180	9,83
-110	-5,15	40	2,11	190	10,39
-100	-4,75	50	2,65	200	10,95
-90	-4,33	60	3,19	210	11,51
-80	-3,89	70	3,73	220	12,07
-70	-3,44	80	4,27	230	12,63
-60	-2,98	90	4,82	240	13,19

Figuur 420 Meetwaarden ijzer-constantaan thermokoppel met referentiekoppel bij 0 °C

Opgaven

- 388.** Waarom is de verschilspanning 0 millivolt bij een meettemperatuur van 0 °C?
- 389.** Waarom is de verschilspanning positief bij meettemperaturen boven de 0 °C?
- 390.** Waarom is er sprake van een negatieve spanning als de meettemperatuur lager is dan 0 °C?
- 391.** De temperatuur bij de meetlas is 180°C. De referentielas heeft een temperatuur van 30°C.
Leidt uit de tabel in **figuur 420** af wat de spanning is die "mV-meter" aangeeft. Met welke temperatuur komt dit overeen?
Welke temperatuur geeft de "mV-meter" aan als de referentielas -30°C is?

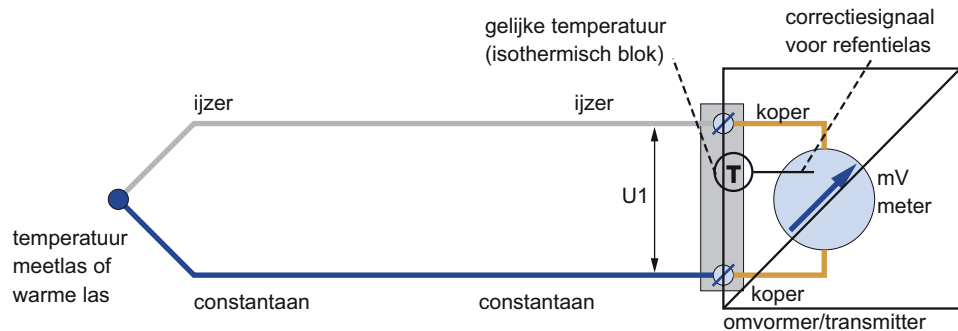


Figuur 421 Thermokoppel spanning als functie van temperatuur voor gangbare type thermokoppels

In de praktijk is het niet altijd mogelijk (handig) om een referentiekoppel op een vaste temperatuur in een smeltend ijsbad of andere bekende constante temperatuurbron te gebruiken.

Compensatie van het gemeten mV-sigitaal voor de invloed van de referentielas is in de praktijk een onderdeel van de omvormer/transmitter. Er hoeft geen apart referentie-

koppel te worden toegepast. De metaalverbindingen die ontstaan bij de aansluitpunten van een thermokoppel aan een omvormer/transmitter mogen als één referentielas worden gerekend mits ze dezelfde temperatuur hebben (isothermisch blok, zie **figuur 422**).



Figuur 422 Thermokoppel aansluiting aan omvormer/transmitter met koudelias compensatie

In de omvormer wordt de temperatuur bij deze aansluitpunten gemeten door een andere opnemer (Pt-100). Deze temperatuur komt overeen met een spanningssigitaal van de referentielas (aansluitpunten). Door het

gemeten mV-sigitaal met deze waarde te compenseren is het juiste spanningssigitaal/temperatuur van de meetlas bekend. Doordat de temperatuur van de referentielas gemeten wordt hoeft deze niet constant gehouden te

worden en is een automatische compensatie voor het referentiekoppel mogelijk. In de praktijk wordt dan over automatische koudelascorrectie gesproken.

Er zijn ook omvormer/transmitters waarbij éénmalig (bij calibratie van de temperatuur-opnemer) een vaste correctie van het mV-sigitaal voor koudelascorrectie wordt ingesteld. Deze omvormer moet dan wel in een omgeving (schakelkast/ruimte) zijn gemonteerd waar een constante temperatuur geregeld wordt. Het is ook mogelijk alle omvormers in dezelfde schakelkast te monteren en één temperatuuropnemer toe te passen voor alle referentielassen.

In de omvormer wordt het mV signaal ook omgezet naar een standaard meet- en regel-sigitaal. Dit signaal kan dan worden gebruikt in andere regelkring componenten. In de omvormer is ook de karakteristiek van het type thermokoppel vastgelegd. Hierdoor worden kleine afwijking in het niet lineaire gedrag gecorrigeerd. De omvormer/transmitter zijn meestal geschikt voor de gangbare type thermokoppels uit de tabel in **figuur 417**. De omvormer/transmitter moet wel worden ingesteld voor het type thermokoppel dat wordt aangesloten om zo een juiste compensatie te krijgen.



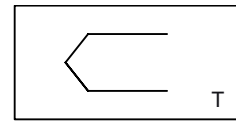
Figuur 423 Transmitter los van meetelement

De omvormer/transmitter kan als één geheel met het thermokoppel zelf gemonteerd zijn (zie **figuur 426**) of als los onderdeel in de omgeving van de opnemer waarbij ook direct de temperatuur kan worden afgelezen (zie **figuur 423**). De omvormer/transmitter kan ook gemonteerd zijn in een schakelkast (DIN-rail, zie **figuur 425**).

- Toepassingsgebied: -40 tot +1600 °C
- Nauwkeurigheid: 1%
- Uitgang 4 – 20 mA

Opgave

392. Een thermokoppel geeft een spanning af. Hoe krijgt de Pt-100 zijn energie?



Figuur 424 Installatiesymbool thermokoppel



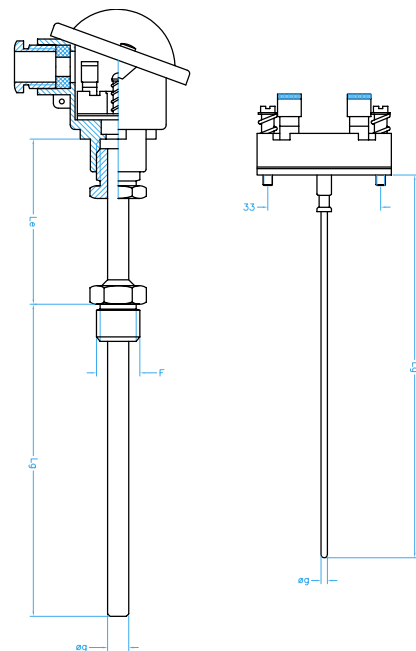
Figuur 425 Transmitter op afstand in schakelkast



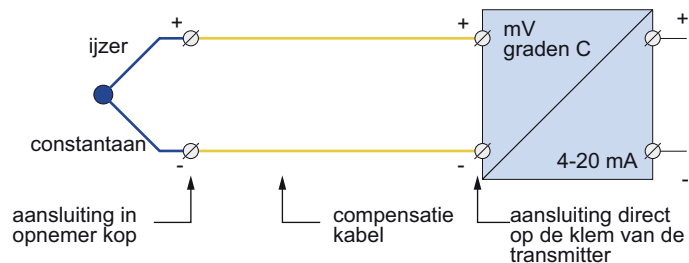
Figuur 426 Thermokoppel met koptransmitter in thermowell gemonteerd

Voor de verbinding van het thermokoppel en de opnemer/transmitter wordt "compensatiekabel" gebruikt (zie **figuur 428**). Dit heeft dezelfde eigenschappen, bij een temperatuur van -30°C tot 70°C , als het thermokoppel

maar is veel goedkoper. Doordat het dezelfde eigenschappen heeft ontstaan er bij de aansluitingen geen nieuwe thermokoppels die het spanningsignaal beïnvloeden.



Figuur 427 Processaansluiting thermokoppel



Figuur 428 Aansluiten compensatiekabel

Het thermokoppelsignaal is van een relatief laag spanningsniveau (20-60 mV zie **figuur 421**). Het signaal moet goed worden afgeschermd tegen elektromagnetische verstoringen door elektromotoren, transformatoren en voedingskabels. Er wordt daarom gebruik gemaakt van afgeschermd kabels waarbij de aders met elkaar "getwist" zijn.

geverbindingen zoals; knelkoppelingen, schroefverbindingen, flensverbindingen of lasverbindingen. Dit in verschillende afmetingen en insteekdieptes.

Voor montage wordt het thermokoppel in een thermowell gestoken (zie **figuur 426** en **figuur 427**). De thermowell wordt in de tank of aan een leiding gemonteerd. Thermowells zijn uitgevoerd met heel veel verschillende monta-



Thermokoppels zijn er ook in heel klein formaat, uitgevoerd als flexibele draad of heel dunne "pennen". Het thermokoppel kan dan direct op het oppervlak van een apparaat worden gemonteerd (zie **figuur 429**). In deze uitvoering is het thermokoppel wel kwetsbaar in een procesomgeving.

In **figuur 430** staan de belangrijkste voor- en nadelen van thermokoppels en weerstandstemperatuuropnemers naast elkaar.

Figuur 429 Compacte uitvoering thermokoppel

	Thermokoppel	weerstandstemperatuuropnamer
Nauwkeurigheid	minder nauwkeurig	hogere nauwkeurigheid
Temperatuur meetgebied	breed -200°C tot +2000°C	kleiner -200°C tot +650°C
Prijs	goedkoper	2-3 maal duurder
Gevoeligheid	meetpunt gevoelig	meetvlak gevoelig
Responssnelheid	sneller	trager
Afmeting	heel klein mogelijk	groter
Referentie temperatuur	vereist	niet van toepassing
Externe voeding	niet noodzakelijk	noodzakelijk
Stabiliteit	minder	uitstekend
Aansluitdraden	speciaal compensatiedraad	standaard koperdraad
Oppervlakte temperatuurmeting	geschikt	minder geschikt

Figuur 430 Vergelijking thermokoppel en weerstandstemperatuuropnamer

Pyrometer temperatuurtransmitter

Dit type temperatuuropnemer werkt op basis van uitgezonden energiestralingen.

- Contactloze meting
- Toepassingsgebied: -40 tot +3000 °C
- Nauwkeurigheid: $\pm 1\%$
- Uitgang 4 – 20 mA
- Meet kleine verschillen

Energiestraling is onder te verdelen in drie gebieden, afhankelijk van de golflengte: Infrarood (IR), zichtbaar licht en ultraviolet (UV).

Werking



Figuur 431 Infrarood transmitter

Alle objecten stralen energie uit. Er bestaan drie verschillende type pyrometers:

- totaalstralingspyrometer (alle drie de type stralingen)
- deelstralingspyrometer
 - helderheidspyrometer, alleen zichtbare stralingsgebied
 - IR-pyrometer, alleen IR-stralingsgebied

De deelstralingspyrometer wordt het meest toegepast. Dit type meet de uitgezonden straling in een klein golflengtegebied.

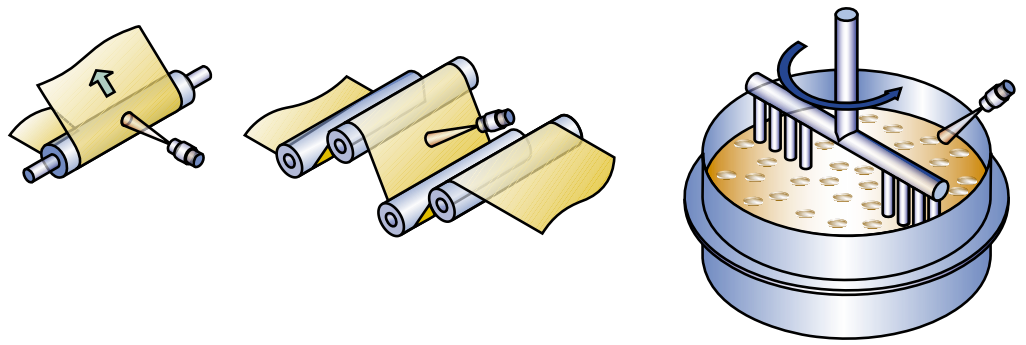
De infrarood temperatuurtransmitter meet de uitgestraalde energie als maat voor de temperatuur. Met behulp van een lens wordt het temperatuurverschil tussen een object en de meter gemeten. De straling verloopt niet lineair met de temperatuur, maar wordt in de omvormer van de transmitter gelineariseerd.

Alleen metingen van oppervlaktetemperatuur zijn mogelijk.

Ten gevolge van reflectie is het meten van glimmende oppervlakken moeilijk en minder nauwkeurig.

Door het contactloos meten is het mogelijk om op moeilijk bereikbare plaatsen te meten. Ook meting van bewegende objecten, zoals champignons op een transportband in **figuur 390**, vormt geen probleem.

Voor enige voorbeelden zie **figuur 432**.



Figuur 432 Contactloos meten op bewegende objecten

Aansluiting

De aansluiting op het proces is door de contactloze meting geen probleem. Door het toepassen van verwisselbare lenzen kan de afstand tot het object en de grootte van het te meten oppervlak worden aangepast. De transmitter kan tot 40 meter van de sensor worden geplaatst met behulp van een sensorkabel.

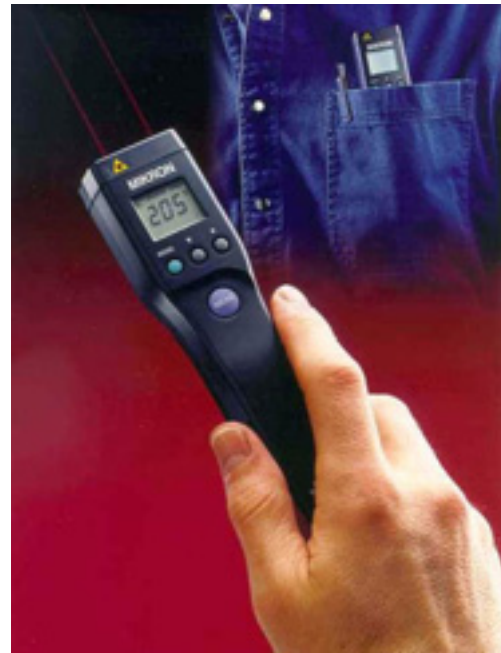
De meting is toepasbaar bij zeer hoge temperaturen zoals ijzer in hoogovens of staalplaten in walsenrijen. Bij de hoog oplopende temperaturen kan de transmitter met water of lucht worden gekoeld.

Om stofvorming op de sensorlens te voorkomen wordt er gefilterde perslucht langs geblazen.

Handmatige meting

Handpyrometers worden ingezet voor verschillende toepassingen.

Temperatuurmeting bij controle en inspectie van installaties zoals het opsporen van leidinglekage, warmteverliezen bij gebouwen of installaties en overbelasting van motoren, zekeringen of elektrische componenten. Om nauwkeurig de meetplaats te kunnen bepalen wordt de pyrometer soms uitgerust met een laser waarmee de meetplaats gespot kan worden. Zie **figuur 433**.



Figuur 433 Handmatige temperatuurmeting

Pyrometers kunnen zeer nauwkeurig kleine verschillen in temperatuur waarnemen waardoor ze ook ingezet worden in medische en bewakingsapparatuur. De waarneming kan dan op een beeldscherm worden weergegeven.

Storingen en onderhoud van temperatuurtransmitters

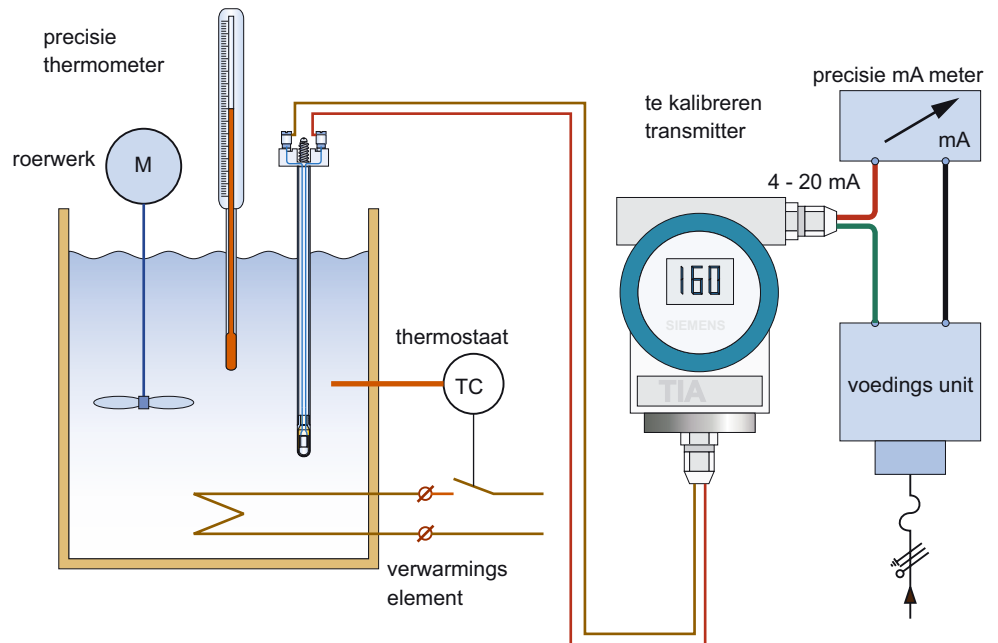
Opgave

393. Op welke punten zou u inspecteren bij een infrarood-transmitter? Vul onderstaande tabel in.

Inspectiepunten	Norm	Actie bij afwijking

Kalibreren / testen temperatuurtransmitters

Kalibreren wordt uitgevoerd in een testopstelling. Zie **figuur 434**.



Figuur 434 Testopstelling voor temperatuurtransmitter

Kalibreren

- We gebruiken dezelfde thermostaatbak voor de indicators.
- De te kalibreren opnemer wordt met het temperatuurgevoelige deel op de juiste diepte in de bak gestoken zoals aangegeven wordt in de gebruiksaanwijzing
- De ijkthermometer dient minimaal een klasse nauwkeuriger te zijn dan het te kalibreren element
- Sluit de transmitter aan op de opnemer. Voor een nauwkeurige afstelling is het raadzaam opnemer en transmitter samen te kalibreren
- Stel de temperatuur op de thermostaat in op een waarde, laag in de schaal.
- Wacht tot de temperatuur stabiel blijft op de ingestelde waarde
- Vergelijk de twee aanwijzingen met elkaar
- Bij afwijking, het nulpunt van de te kalibreren meter verstellen
- Stel de temperatuur op de thermostaat in op een waarde, hoog in de schaal van de te kalibreren meter
- Om het kalibreren sneller uit te voeren, kan ook een tweede thermostaatbak worden gebruikt
- Bij afwijking, de span van de te kalibreren meter verstellen

- Vorige punten herhalen totdat de afwijking binnen de nauwkeurigheidsgrens ligt
- Handeling herhalen op een aantal tussenvallende schaalwaarden

Bij intelligente transmitters wordt een aansluiting gemaakt op het programmeerapparaat zoals bij de druktransmitters wordt gedaan.

Meetfouten

Installatie van de opnemer

Een meetopnemer kan bijvoorbeeld bij gas een te lage aanwijzing geven door warmte-afvoer langs de metalen opnemer (warmtegeleiding). Een te hoge aanwijzing is mogelijk door straling van een gloeiende ovenwand, ketel of andere warmtebron. Bij vloeistoffen moeten we rekening houden met temperatuurverschillen door warmtestroming. Het meetinstrument geeft dan wel de precieze temperatuur van het proces waar de opnemer zich bevindt, maar deze temperatuur hoeft niet te gelden voor de rest van het proces.

Een groot verschil tussen de werkelijke proces-temperatuur en de meteraanwijzing is mogelijk bij een voortdurend wisselende temperatuur. Zoiets gebeurt vooral bij het starten of het veranderen van de instelling van het proces.

De grootte van de afwijking wordt bepaald door:

- traagheid van de opnemer
- snelheid waarmee de temperatuur varieert

We geven hieronder een nadere toelichting op beide factoren.

De traagheid van de opnemer

Bij gebruik van beschermhulzen (zie hierna) moeten we rekening houden met de vertragende invloed die er vanuit gaat. Als de temperatuur van het proces iets verandert, moet de warmte worden overgedragen op het meetelement. Hoe meer materiaal de huls, het contactmiddel en de meter zelf bevatten, des te meer warmte-eenheden zullen nodig zijn om het temperatuurverschil te overbruggen. De hoeveelheid warmte, die daarvoor nodig is, noemt men de warmtecapaciteit. De tijd, die het kost om de meter na een verandering weer op de juiste temperatuur te brengen wordt de capacatieve vertraging genoemd. Omdat traagheid in een regeling ongewenst is, zullen we de capacatieve vertraging ook uitvoerig bespreken.

In zijn algemeenheid kunnen we zeggen:

De snelheid waarmee "iets" via een "weerstand" overstroomt van het éne in het andere "vat", hangt zolang de weerstand niet verandert, af van het verschil in "hoogte" tussen beide "vaten".

Deze regel geldt voor ieder proces waar vertraging een rol speelt.

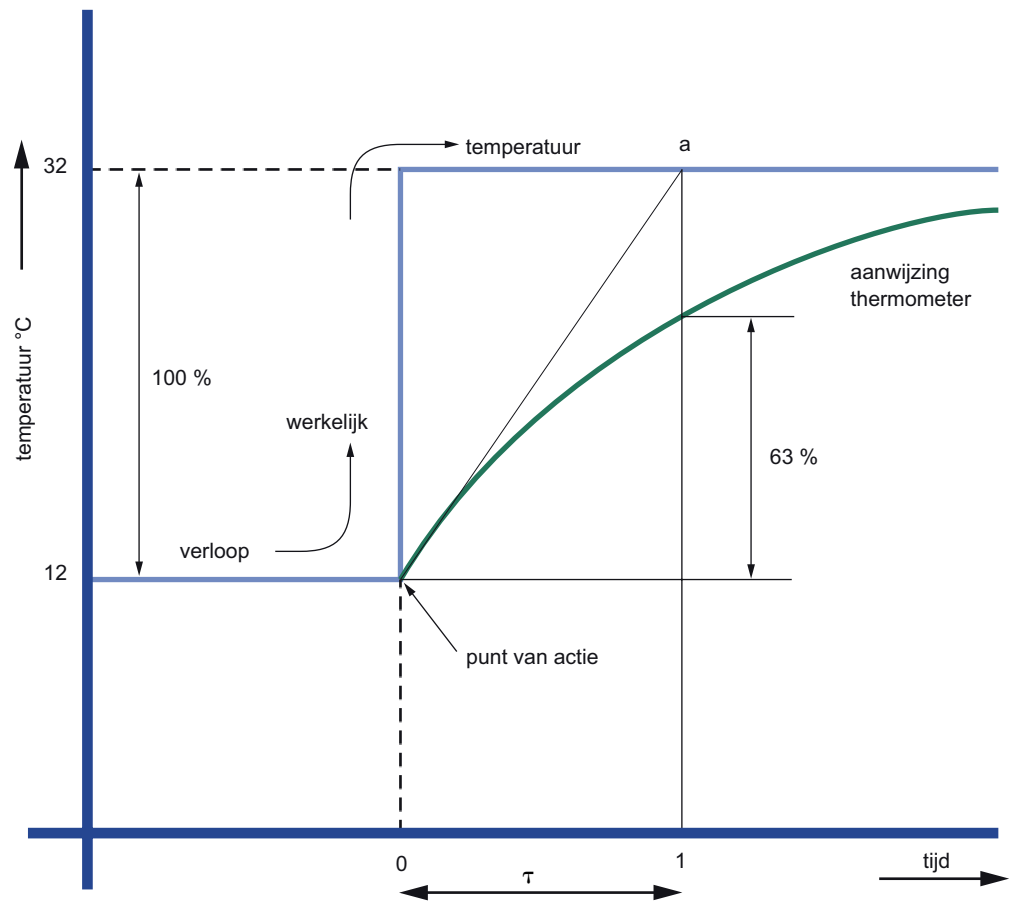
Bijvoorbeeld:

Water dat via een aftappijpje uit een reservoir in een emmer loopt, stroomt naarmate het peil in het reservoir zakt, steeds langzamer.

Hoe kleiner het temperatuurverschil, des te langzamer de warmte-overdracht.

De grafische voorstelling van dit verschijnsel ziet u in **figuur 435**. Voor het overbrengen van een temperatuurverschil van 20 °C zien we een curve, die naarmate het verschil kleiner wordt steeds vlakker loopt. Hoe groter het te overbruggen verschil, des te steiler de voet van de curve. Vanaf punt a is 63% van de werkelijke verandering gerealiseerd. Men noemt dit ook de tijdconstante. Bij de samenstelling van de regeling houdt men rekening met deze vertraging.

De snelheid, waarmee een opnemer temperatuurvariaties kan volgen, hangt af van de tijdconstante van de opnemer. Hieronder verstaat men de tijd, die nodig is om, na een plotselinge verandering van de te meten temperatuur, de opnemer 63% van deze verandering in temperatuur te laten overbruggen ($5\tau =$ circa 100% van de eindwaarde en wordt vaak responsietijd genoemd. 90 wil zeggen: tijd voor 90% responsie).



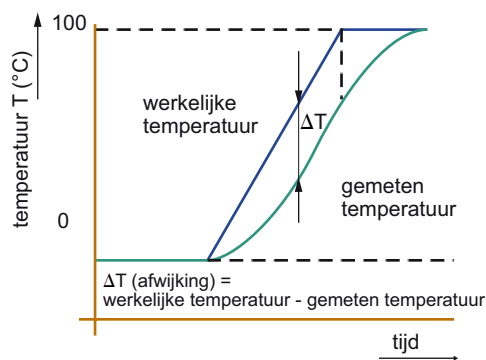
Figuur 435 Grafische weergave capacatieve vertraging

Opgaven

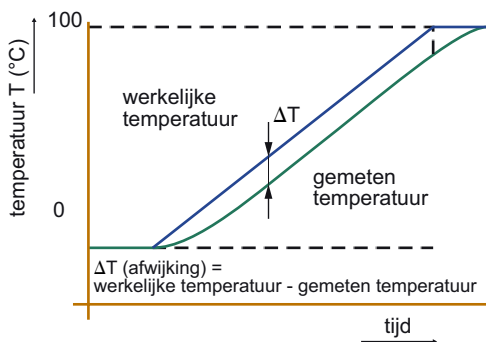
- 394.** Waardoor wordt de tijdconstante bepaald?
- 395.** Is het gunstig of ongunstig voor een temperatuurregeling wanneer de tijdconstante van een temperatuuropmeter een hogere waarde heeft? Verklaar uw antwoord.
- 396.** Teken de temperatuurwijziging van een opmeter met een hogere waarde van de tijdconstante in **figuur 435**.

De snelheid waarmee de temperatuur varieert

In **figuur 436** en **figuur 437** is een temperatuursverandering van 0 tot 100 °C getekend. In **figuur 436** verloopt de temperatuursverandering erg snel, terwijl deze in **figuur 437** zeer langzaam verloopt. De steilheid van de lijnen geeft dat ook aan. Bij gelijkblijvende vertraging wijkt het verschil tussen gemeten en werkelijke temperatuur per figuur aanzienlijk af. De afwijking bij een snelle temperatuursverandering blijkt veel groter dan bij een langzaam verlopend proces. In **figuur 436** en **figuur 437** is dat af te lezen.



Figuur 436 Snelle temperatuur stijging



Figuur 437 Trage temperatuur stijging

Bij temperatuurmetingen is het zeer belangrijk aandacht te schenken aan:

- plaats van de opnemer in het proces
- vorm van de opnemer

Hierbij moet men de drie vormen van warmteoverdracht voor ogen houden:

- geleiding
- stroming
- straling

We willen dat de opnemer van de temperatuurmeter praktisch dezelfde temperatuur aanneemt als het medium, dat we meten. Hieruit volgen minimaal twee eisen:

- de warmteweerstand van medium naar opnemer moet zo klein mogelijk zijn om veranderingen van temperatuur zo snel mogelijk te kunnen volgen
- de warmtecapaciteit van de opnemer moet zo klein mogelijk zijn, zodat bij temperatuursveranderingen zo min mogelijk energie nodig is.

Een lage warmtecapaciteit kan ook nodig zijn als de totaal beschikbare energie gering is. Anders veroorzaakt een grote energieopname door de opnemer een temperatuurdaling van het medium.

Niet alleen de keuze van thermometers is belangrijk, maar ook de plaats waar de thermometers in het proces gemonteerd worden. Dit geldt op alle plaatsen of het nu gaat om opnemers in leidingen, reservoirs, woonruimten, opslagruimten of in de open lucht.

Opgave

397. We willen in de buitenlucht een buitenvoeler (temperatuur) voor een CV-regeling plaatsen. Doel is een goede meting van de temperatuur van de buitenlucht. Met welk soort warmteoverdracht houdt u rekening?

Beschermhulzen voor thermometers (thermowells of dompelbuizen)

Thermometers kan men in de meeste gevallen in een leiding plaatsen. Zij moeten wel worden beschermd tegen invloeden van buitenaf en binnenuit. Voor dat doel worden beschermhulzen of thermowells gebruikt. Er bestaan twee soorten thermowells, namelijk inschroef en inlastype's

Zie **figuur 438**. De geschroefde typen worden in de procesleiding geschroefd. De schroefdraadgrootte is meestal 1/2", 3/4" of 1" NPT. De uitvoeringen BN/CN worden in de leiding gelast.

Beschermbuizen DIN 16179 vorm B en vorm C

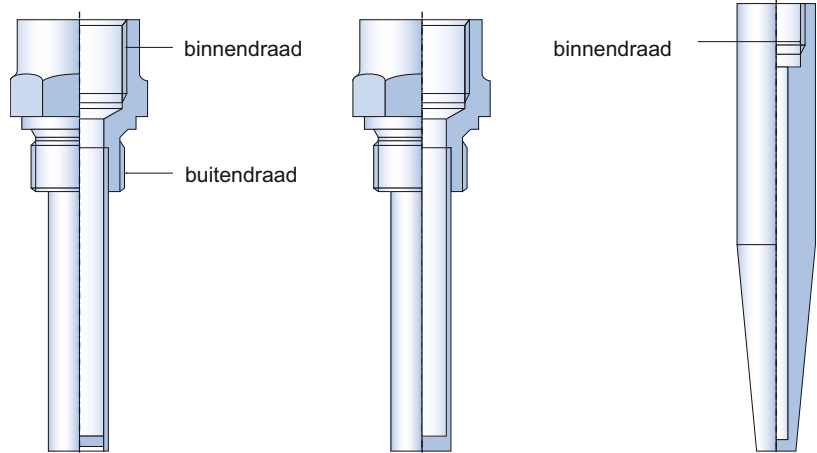
Deze norm stelt alle gegevens vast voor glas- en wijzerthermometer, zowel voor thermo-elementen als weerstandopnemers, volgens DIN 43760-43763.

Voor thermo-opnemers met buitendraad

vorm BD inschroef

vorm BE inschroef

vorm BN inlas

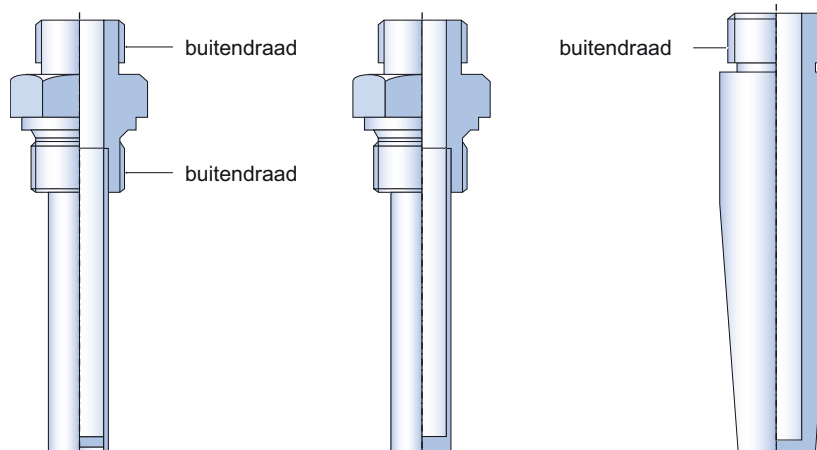


Voor thermo-opnemers met binnendraad

vorm CD inschroef

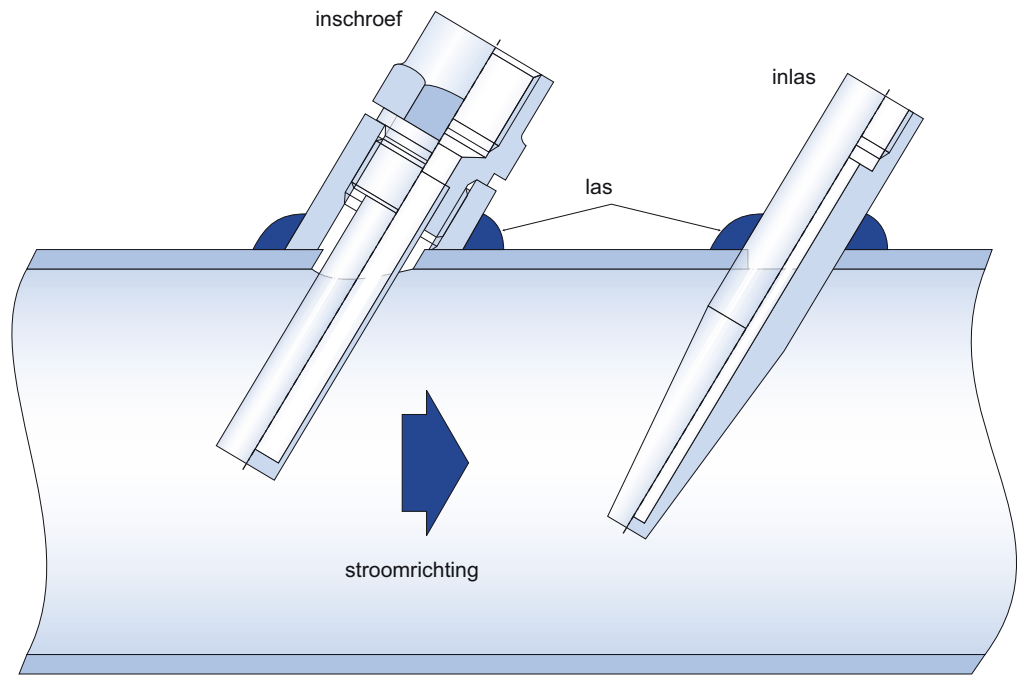
vorm CE inschroef

vorm CN inlas



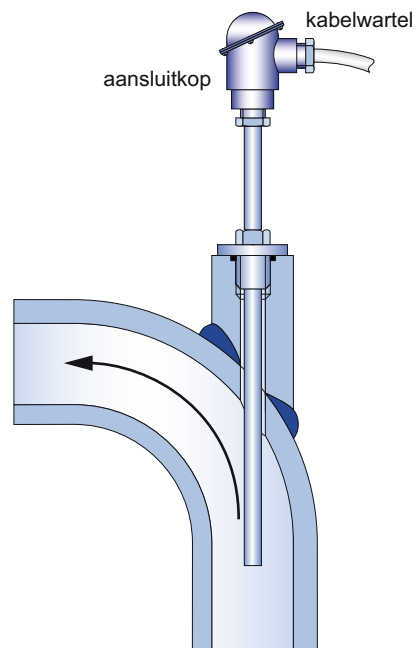
Figuur 438 Beschermbuizen

Bij het plaatsen van een thermowell in een leiding, moet men zorgen voor een optimale warmte-overdracht. Vandaar, dat men ze onder een hoek, tegen de stroomrichting in, monteert. Zie **figuur 439**.



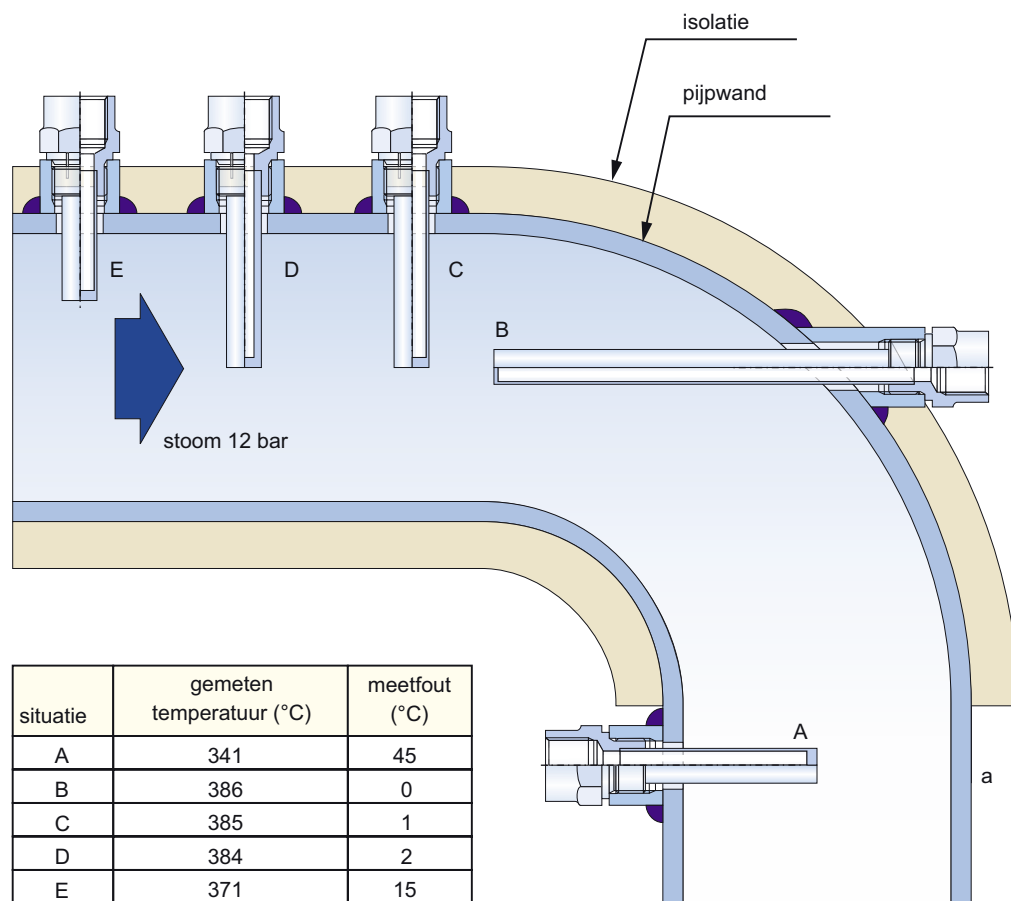
Figuur 439 Beschermbuizen in leiding

Voor plaatsing van Pt-100- en thermokoppelmeetelementen wordt de beschermbuis in de leiding gemonteerd zoals te zien is in **figuur 440**. Hierop is een aansluitkop geschroefd, voorzien van een kabelwartel.



Figuur 440 Beschermbuis in leiding

Wanneer opnemers niet goed worden gemonteerd, kunnen grote meetfouten ontstaan. Het volgende voorbeeld zal dat duidelijk maken. In een leiding zijn op verschillende plaatsen thermowells (met meetelement) geplaatst. We zullen de meetpunten met elkaar vergelijken. Zie **figuur 441**.



Figuur 441 Beschermbuizen in leiding

Situatie A

De thermowell is niet in de leidingisolatie verpakt. Daardoor ontstaat er een warmtestroom langs de thermowell naar de buitenomgeving. Door deze warmtestroom is de warmteoverdracht naar de opnemer in de thermowell slechter en de meetfout groter. Ook is de plaats van de thermowell in de stroomrichting niet optimaal. Voor een goede temperatuurmeting zou een plaats aan de buitenkant van de bocht (bij a) al iets beter zijn. De wervelingen zijn daar door de centrifugale kracht groter en dat geeft een betere warmteoverdracht. Door deze foutieve montagewijzer kunnen meetfouten optreden van $\pm 15\%$.

Situatie B

De pijp is geïsoleerd. Ook de stroomrichting is voor het meten van de temperatuur ideaal. Een meetfout van 0°C is mogelijk.

Situatie C

De warmteoverdracht zal iets minder zijn dan in geval B. De stroomrichting is minder gunstig dan in situatie B. Wel is bij deze situatie voor een dunwandige thermowell met ribben gekozen. Daardoor is de warmteoverdracht beter en de meetfout kleiner dan $\pm 1\%$.

Situatie D

Situatie D heeft dezelfde omstandigheden als situatie C, maar in dit geval is een dikwandige thermowell toegepast. Dit geeft in vergelijking met situatie C een slechtere warmteoverdracht naar de opnemer. De meetfout zal dan ook circa tweemaal zo groot zijn als in geval C, $\pm 2\%$.

Situatie E

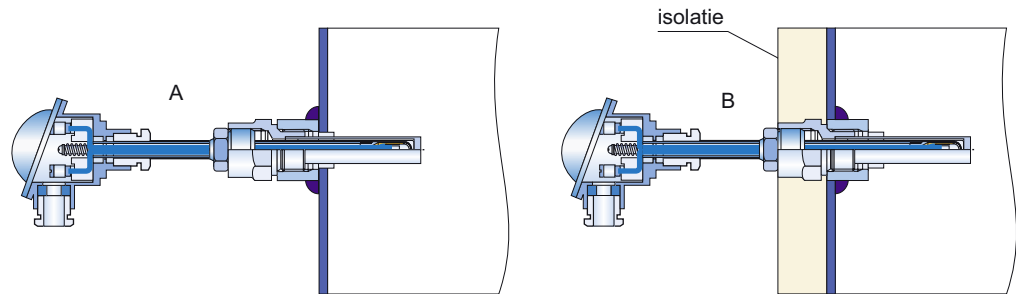
De omstandigheden zijn precies dezelfde als D, maar er is gekozen voor een kortere thermowell. Die steekt dus niet erg diep in de pijp en de te meten stof. De warmteoverdracht is daardoor minder goed, hetgeen een grotere meetfout oplevert. Gerekend moet worden op een meetfout van $\pm 5\%$.

Voor een goede temperatuurmeting is dus bepalend:

- plaats van de thermowell in de stroom en de richting waarin de thermowell is geplaatst - insteekdiepte
- wanddikte van de thermowell. Deze kan vanwege de druk in de leiding niet altijd even dun zijn - pijpisolatie.

Opgave

398. In **figuur 442** ziet u twee verschillende manieren voor het monteren van een temperatuuropnemer op een reservoir. Welke manier is de beste en waarom? Meerdere punten noemen.

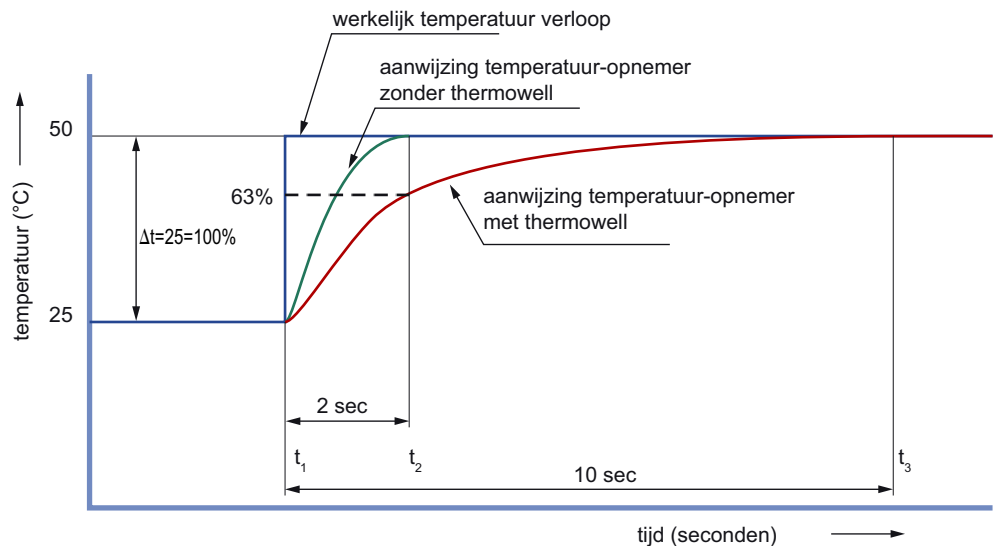


Figuur 442 Temperatuuropnemer in een reservoir

Responsiesnelheid

Thermowells worden toegepast als een temperaturelement beschermd moet worden tegen te hoge drukken, mechanische beschadigingen, aantasting door het medium of wanneer het nodig is dat een opneemelement zonder bedrijfsstoornis kan worden gemonteerd en gedemonteerd. Wanneer thermowells zijn toegepast, moeten we ons realiseren, dat de responsietijd (t) toe neemt.

Stel dat een Pt-100 element in een leiding een temperatuur meet van 25 °C. Plotseling heeft de vloeistofstroom op tijdstip t_1 een temperatuur van 50 °C. De temperatuurverhoging is dus 25 °C. Er gaat dus enige tijd overheen voor de juiste temperatuur van 50 °C weer wordt gemeten. Een grafische voorstelling hiervan ziet u in **figuur 443**. In **figuur 435** is dit verschijnsel ook al aan de orde geweest.



Figuur 443 Grafiek responsietijd

Is de responsietijd van een meetelement zonder thermowell 2 seconden, dan betekent dat, dat het element de juiste temperatuur pas na 2 seconden zal meten; dus op tijdstip t_2 . Bij toepassing van een meetelement met thermowell kan de responsietijd wel 10 seconden bedragen. Dus op tijdstip t_3 is het meetelement weer bij. Bij het ontwerpen van een temperatuurregeling moet men hiermee terdege rekening houden.

In bijna alle processen heeft men niet alleen te maken met één tijdconstante, maar met meerdere, die in principe met elkaar in serie staan. Denk bijvoorbeeld aan warmte-overdrachten van stoom op heaterpijpen en van heaterpijpen op het te verwarmen medium. Door de serieschakeling van een aantal tijdconstanten gaat het proces een 'looptijdachtig gedrag' vertonen. Dit speelt vooral bij temperatuurprocessen. Om deze reden wordt daarom vaak een D-actie in de regelaar toegepast.

Speciale toepassingen

Smart temperatuur transmitter



Figuur 444 Smart temperatuurtransmitter

Er zijn ook smart (slimme) transmitters. Deze transmitter is toe te passen voor zowel Pt-100 (2,3 of 4 draads) als Thermokoppel. Het meetbereik en andere parameters (Tagnummer, storingssignaal) zijn via een programmeerapparaat in te stellen.

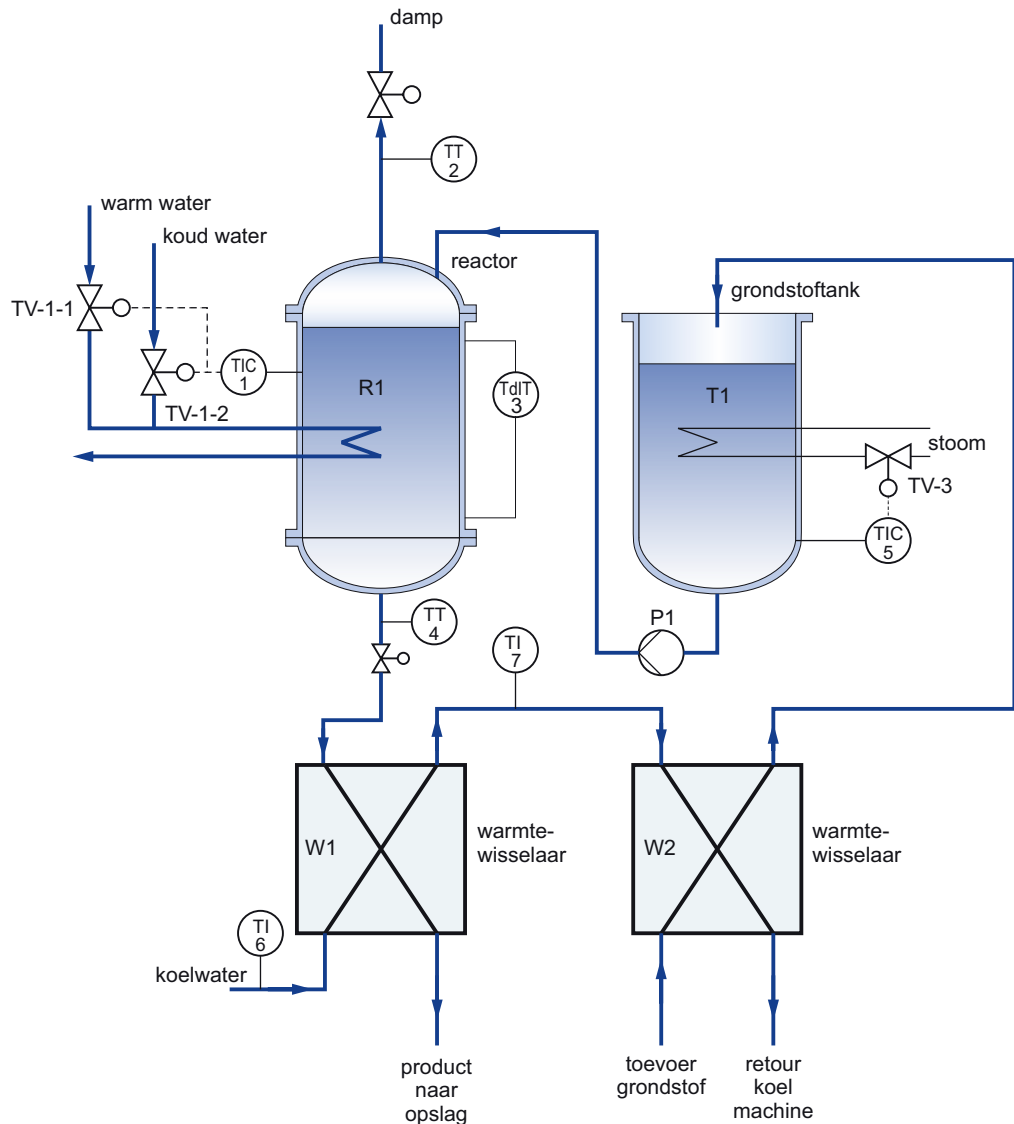
Opgave

399. Wat is het voordeel van de transmitter uit **figuur 444** ten opzichte van een uitvoering met vaste instellingen? Denk hierbij aan installaties waar veel temperatuur wordt gemeten met verschillende opnemers en ranges.

Eindopdracht Temperatuur-transmitters

In **figuur 445** is een deel van een proces weergegeven. De grondstoffank T-1 wordt via warmtewisselaar W-2 gevuld. De grondstof wordt in W-2 voorverwarmd en in T-1 verder op temperatuur gebracht. Bij de start van het reactieproces wordt de grondstof in de reactor gepompt door P-1. In de reactor wordt vervolgens de reactie op gang gebracht middels verdere verwarming door TIC-1. Als door de reactie de temperatuur oploopt, zorgt

TIC-1 voor de koeling. Bij beëindiging van het reactieproces wordt het product via warmtewisselaar W-1 afgelaten naar de opslag. Door het aflatenvan het product en het vullen van de grondstoffank op het zelfde tijdstip, kan het opgewarmde koelwater van W-1 de grondstof voorverwarmen in W-2. De reactor heeft geen roerwerk. Het is daardoor mogelijk dat er geen "homogene" temperatuur in de reactor aanwezig is.



Figuur 445 Processchema

In dit schema zijn alleen de PID-symbolen aangegeven die betrekking hebben op temperatuur-metingen.

Opgaven

400. Wat is de reden dat in warmtewisselaar W-2 de grondstof wordt voorverwarmd?
401. De opnemer van TIC-5 is onderin de tankwand geplaatst. De operator geeft aan dat de grondstoftemperatuur onvoldoende nauwkeurig te regelen is. Wat is de oorzaak van dit probleem en hoe is dit op te lossen?
402. Wat is het gevolg voor de regelkring TIC-5 als de tank volledig wordt leeggepompt?
403. Wat is de functie van TdIT-3?
404. TIC-1 regelt de temperatuur in de reactor. Geef aan wat de werkingsrichting van de kleppen TV-1-1 en TV-1-2 moet zijn en waarom.
405. Een Pt-100 element is in een thermowell geplaatst. Er wordt gemeld dat de warmteoverdracht van de thermowell naar de Pt-100 te traag verloopt. Wat kan volgens u de oorzaak zijn en wat is er aan te doen?
406. De opnemer van TI-7 is zonder beschermhuls in de leiding geplaatst. Wat is hiervan een nadeel?
407. Wat kan een nadeel zijn van een opnemer beschermhuls? Wat kan men doen om dit nadeel zoveel mogelijk te beperken?
408. Wat is het voordeel van een temperatuursensor met een transmitter in de aansluitkop?
409. Wat is het voordeel om een Pt-100 rechtstreeks op en regelaar aan te sluiten? Wat is het nadeel?
410. Hebben 'kop'transmitters en 'DIN-rail'transmitters altijd een vast meetbereik of kunnen deze ook smart zijn?

Hoofdstuk 13 Transmitters voor diverse metingen

Inleiding Naast primaire procesgrootheden (P, T, F, L) zijn er in processen nog diverse andere grootheden die gemeten en geregeld kunnen worden. In dit hoofdstuk gaan we een aantal van deze grootheden behandelen. Bij een aantal wordt alleen de grootheid toegelicht en bij anderen wordt dieper ingegaan op de meetapparatuur. Veelal betreft het kwaliteitsmetingen (QIT), nodig om processen te optimaliseren.

Aan de orde komen:

- pH-transmitter
- Geleidbaarheidstransmitter
- Gewicht- en kracht-transmitter
- Snelheidstransmitter/lengtemeting
- Luchtvochtigheidstransmitter
- Viscositeit
- Rookgasanalyse
- Soortelijke massa
- Dichtheid

Transmitters

Voor de hierbovengenoemde kwaliteitsmetingen zijn vaak heel specifieke opnemers en transmitters nodig zoals te zien is in **figuur 446** tot en met **figuur 450**.



Figuur 446 pH - transmitter



Figuur 448 Snelheidstransmitter



Figuur 449 Weegband



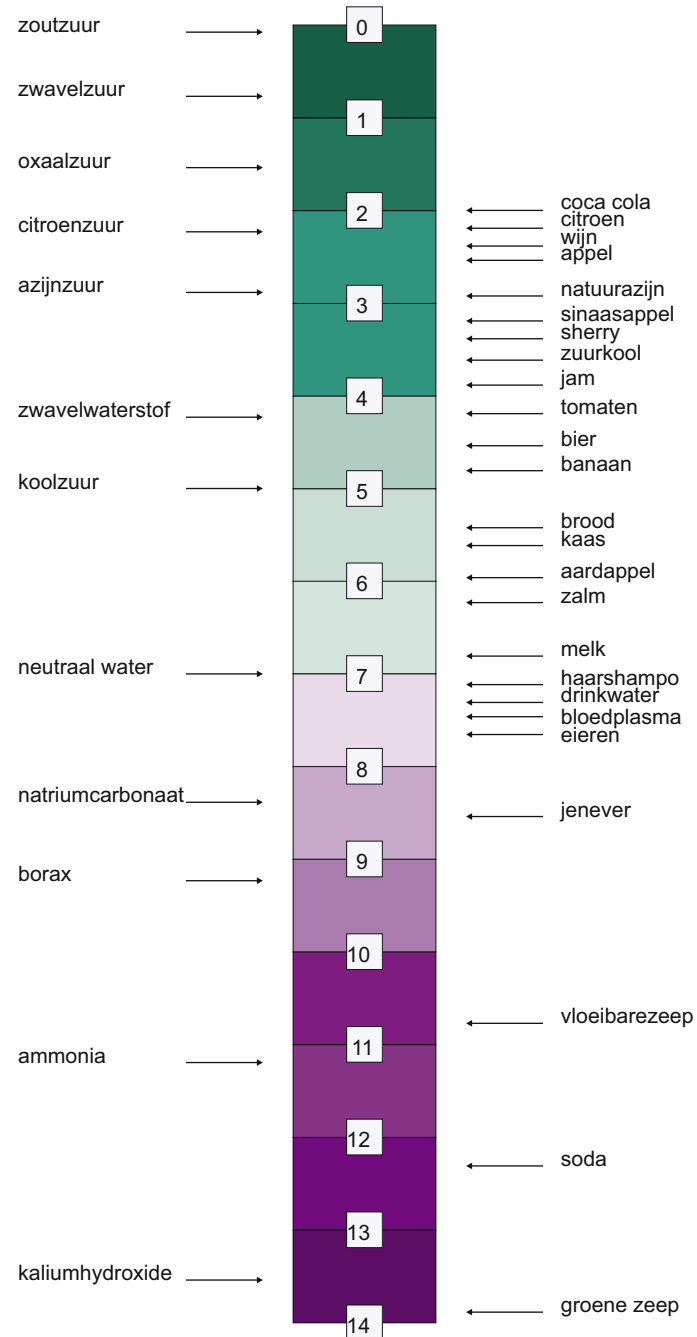
Figuur 447 Gewichtstransmitter



Figuur 450 pH Transmitter (Bron: Yokogawa Nederland BV)

pH-indicators en transmitters

Onder de pH-waarde van een vloeistof verstaan we de zuurgraad. Neutraal water heeft een pH-waarde van 7. Water dat zuurder is, heeft een lagere pH-waarde. Hoe minder zuur het water (alkalisch/basisch), des te hoger is de pH-waarde. Zie **figuur 451**.



Figuur 451 De pH-tabel met vermelding van een aantal producten

Sommige fabrieken produceren zuur afvalwater, dus $pH < 7$. Omdat dit slecht is voor het milieu en de rioolleiding, zijn er wetten die verbieden dat dit afvalwater onbehandeld

wordt geloosd. Om het water te kunnen lozen moet het eerst worden geneutraliseerd, zodat $pH = 7$. Neutralisering van zuur water doet men met loog.

Maar ook water met een te hoge pH-waarde, bijvoorbeeld pH=10, is slecht voor het milieu. Neutralisering van alkalisch water doet men door middel van zuur. Een probleem bij pH-metingen is dat de karakteristiek exponentieel verloopt en bovendien temperatuurafhankelijk is.

Naast behandeling van afvalwater wordt de pH-meting of regeling ook in de procesindustrie toegepast om productieprocessen waar de zuurgraad van invloed is op het product, te sturen.

pH-indicator

De pH-waarde kan handmatig worden gemeten met behulp van strookjes lakmoespapier. Het papier is geïmpregneerd met een stof die van kleur verandert na onderdompeling in een vloeistof. Bij elke pH-waarde hoort een bepaalde kleur die kan worden vergeleken met een kleurentabel. Zie **figuur 452**.



Figuur 452 Lakmoespapier en kleurentabel

Opgaven

411. Bij een afvalwaterzuivering wordt aan het water met een lage pH-waarde Kalium Hydroxide toegevoegd. Waarom doet men dit?

pH-transmitter



Figuur 453 pH-transmitter

- Toepassingsgebied: pH 1 - 14
- Nauwkeurigheid: 0,25%
- Uitgang 4 – 20 mA

Werking

De pH-waarde wordt gemeten met twee elektrodes. Een meet- en een referentie-elektrode waartussen een potentiaalverschil gemeten wordt die afhankelijk is van de pH waarde. In de praktijk zijn deze meestal in één behuizing ondergebracht. De bedrijfsomstandigheden bepalen welke soort opnemer het meest geschikt is voor de betreffende meting.

Kalibreren en testen

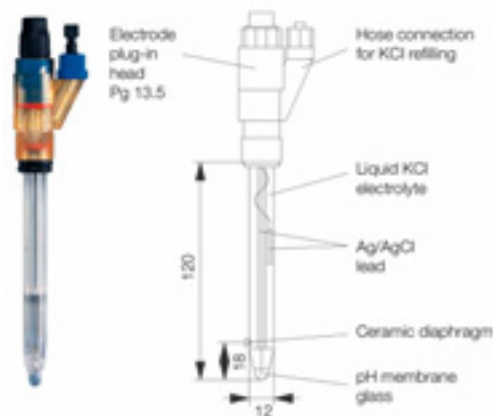
Door de opnemer wisselend in vloeistoffen (buffers) onder te dompelen met verschillende pH-waarden, kunnen meer punten binnen het meetbereik van de transmitter worden gecontroleerd of ingesteld.

Een buffervloeistof heeft een vaste bekende pH-waarde die door de bufferwerking stabiel op deze waarde blijft. Wel is het raadzaam om bij wisseling van buffer, de opnemer schoon te spoelen met gedistilleerd water.

De elektrode heeft een KCl-vloeistofvulling die navulbaar is. De elektrode kan onder moeilijke omstandigheden worden toegepast (in ketelvoedingwater of hoge concentratie alcohol), zie **figuur 454**.

Storingen en onderhoud

Vervuiling van de opnemer, bijvoorbeeld aanslag op het membraan, zorgt voor afwijking in de aanwijzing. Afhankelijk van de vervuilingsgraad dient de opnemer regelmatig te worden schoongemaakt. Als de vervuiling doordringt tot in de meetelektrode (diffusie), spreekt men van vergiftiging van de elektrode. Vervanging is dan noodzakelijk. Het kan noodzakelijk zijn om de KCl-vloeistof bij te vullen. De elektrode met KCl-gel is onderhoudsvrij.



Figuur 454 Navulbare pH-elektrode

Ook kan de vulling uit een KCl gel bestaan. Middels diffusie door de glazen meetelektrode ontstaat contact tussen de interne elektrode en de te meten vloeistof. De elektrodes geven een lage spanning (+ of - 400mV) af die door de meetomvormer in de transmitter wordt omgezet in een uitgangssignaal (4 – 20 mA).

De pH-meting en het mV-signaal zijn afhankelijk van de temperatuur. Om hiervoor te compenseren, wordt er een Pt-100 opnemer die in de te meten vloeistof zit, aangesloten op de omvormer. Deze Pt-100 opnemer is vaak al onderdeel van de pH-opnemer.

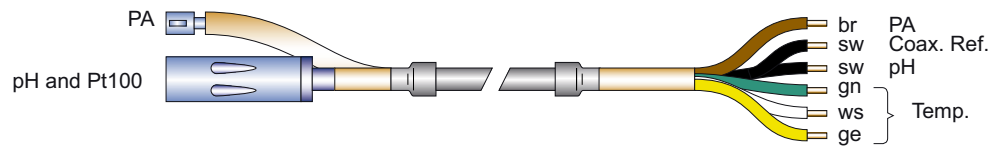
Aansluiting



De meest gebruikte procesaansluiting is die waarbij de elektrodes worden ondergedompeld in de vloeistof. Ook wordt een doorstroomelement toegepast. Zie **figuur 455**.

In verband met de lage spanning die de elektrodes afgeven, wordt de verbinding met de transmitter zo kort mogelijk gehouden en met speciale kabel uitgevoerd. Zie **figuur 456**.

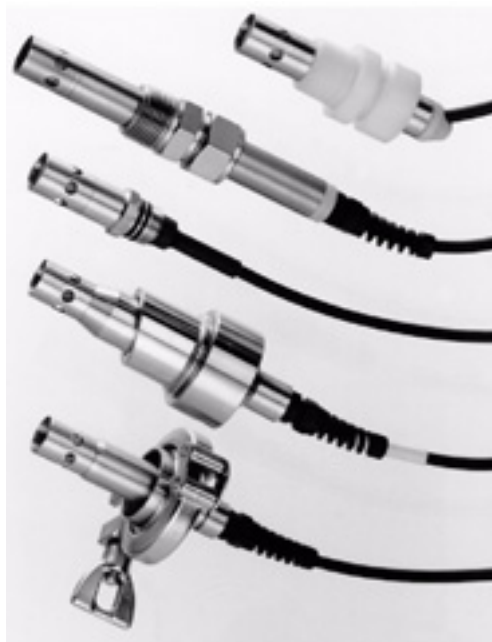
Figuur 455 Doorstroom- en dompel-element voor pH-opnemer



Figuur 456 Kabelset voor koppeling elektrodes aan transmitter

Geleidbaarheids-transmitter

Het is soms belangrijk om de elektrische geleidbaarheid van vloeistoffen te meten (bijvoorbeeld ketelvoedingwater). De eenheid voor de absolute geleidbaarheid is micro siemens (μS). Soms wordt ook nog de micro mho als eenheid gebruikt. In principe meet men de elektrische weerstand tussen twee elektroden die op een bepaalde afstand van elkaar in het medium staan. De eenheid voor die weerstand is ohm; de omgekeerde waarde daarvan is de geleidbaarheid (mho). Bijvoorbeeld: de weerstand is 8 ohm, dan is de geleidbaarheid $1/8$ mho. (1 mho = 1 Siemens)



Figuur 457 Geleidbaarheidsopnemers (Bron: Yokogawa Nederland BV)

- Toepassingsgebied: 0 tot 2000 mS/cm
- Nauwkeurigheid: 0,5%
- Uitgang 4 – 20 mA

De weerstand tussen twee, in vloeistof ondergedompelde, elektrodes wordt op dezelfde wijze gemeten als bij de Pt-100 opnemer en omgezet in een 4 - 20 mA signaal.

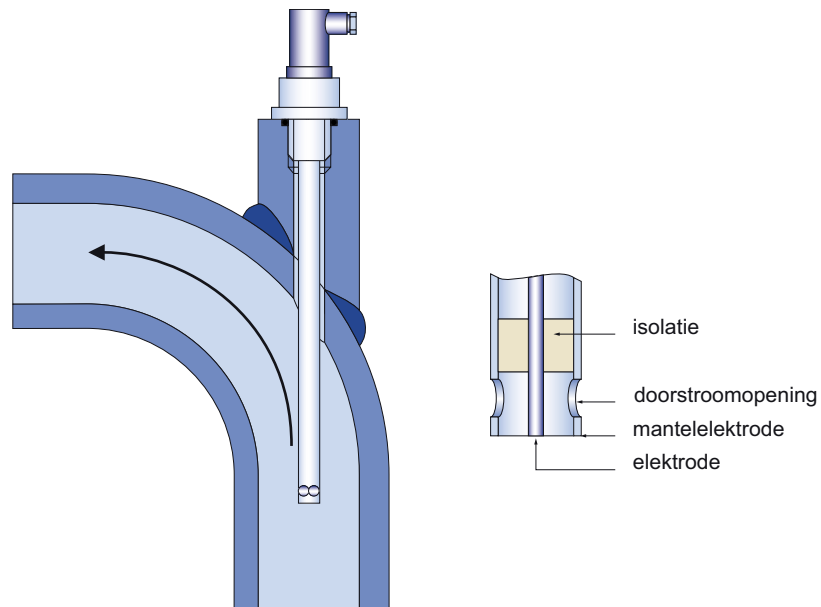
De meting wordt toegepast om de kwaliteit van ketelvoedingwater (Demin water) te bewaken. Verontreiniging, waardoor schade aan de stoomketel kan ontstaan, doet de geleidbaarheid toenemen. In de levensmiddelen industrie worden geleidbaarheidsmetingen toegepast bij het reinigingsproces (CIP-cleaning). Met de meting wordt, op basis van een verschil in geleidbaarheid de overgang tussen productstromen en reinigingsvloeistof bepaald.

Figuur 457 geeft een voorbeeld van elektrodes.

De geleidbaarheidsopnemer (cel) kent een zogenaamde celconstante. De waarde van deze celconstante is afhankelijk van de afstand en het oppervlak van de meetelektrodes. Bij slecht geleidende vloeistoffen wordt een opnemer met een hoge celconstante toegepast en omgekeerd bij een goed geleidende vloeistof, één met een lage celconstante.

De temperatuur heeft grote invloed op de gemeten geleidbaarheid. In de opnemer is daarom vaak een Pt-100 element ingebouwd. Deze is aangesloten op de omvormer waardoor een automatische temperatuurcompensatie mogelijk is.

De aansluiting op het proces kan met een flens- of schroefverbinding worden uitgevoerd. Zie **figuur 458**.



Figuur 458 Procesaansluiting geleidbaarheidsopnemer

Het meetgedeelte dient zo goed mogelijk in de vloeistofstroom te steken om verversing ervan door de elektrode te waarborgen.

Storingen en onderhoud

Vervuiling is de grootste storingsbron. Aanslag tussen de twee elektrodes kunnen het meetresultaat beïnvloeden. Deze dienen regelmatig te worden gecontroleerd en zo nodig schoongemaakt.

Kalibreren / testen

Door bekende weerstanden, overeenkomend met de waarden die gelden voor het ingestelde meetbereik, aan te sluiten op de transmitter, kan de aanwijzing worden gecontroleerd en zo nodig gekalibreerd.

De meetcel zelf kan worden gekalibreerd met een nauwkeurige referentiemeting en een kalibratievloeistof met een exact bekende geleidbaarheid.

Gewicht- of krachts-transmitters

Wegen

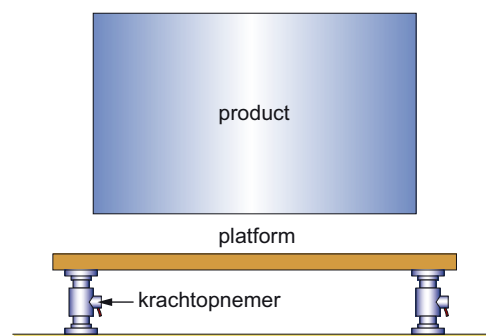
Om de hoeveelheid van een product te bepalen wordt vaak gewogen. De hoeveelheid wordt dan uitgedrukt in gewichtseenheden zoals de kg of ton.



Figuur 459 Weegtank (bron: B.V. VEGA meet- en regeltechniek)

- Toepassingsgebied: type afhankelijk
- Nauwkeurigheid: vanaf 0,1%
- Uitgang 4 – 20 mA

Werking



Figuur 460 Weegplatform

Het product wordt op of aan het weegtoestel geplaatst of gehangen. Dit weegtoestel kan bestaan uit een platform dat op één of meer krachtopnemers rust. Deze krachtopnemers zijn meestal druk- of trekdozen. Een voorbeeld staat in **figuur 460**.

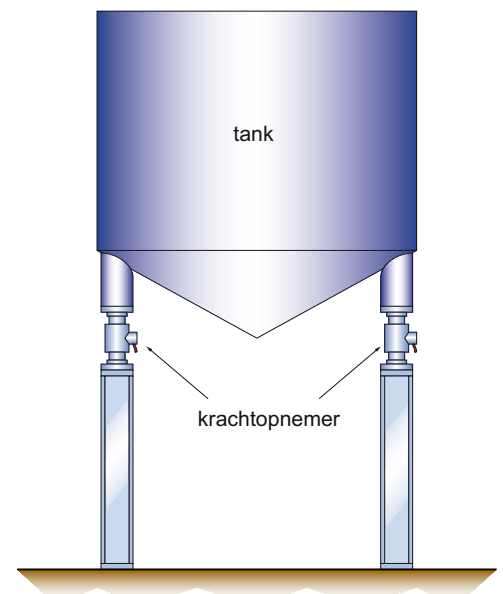
Bij het wegen van tanks of silo's waarin gas,- vloeistof,- korrel of poedervormige vaste stoffen zitten wordt de drukdoos aan de poten van de tank geplaatst. Zie **figuur 461**.

Druk- of trekdozen bestaan meestal uit een stalen staaf waar het gewicht een kracht op uitoefent. De spanning die hierdoor op de staaf ontstaat wordt door rekstrookjes

gemeten en omgezet in een elektrisch signaal. Dit signaal is lineair met de kracht en dus met het gewicht. De afmeting van de rekstrookjes hangt af van het te meten gewicht (meetgebied). Naast rekstrookjes zijn er nog andere typen kracht- en gewichtopnemers in omloop.

Het wegen is zeer nauwkeurig als er voor wordt gezorgd dat het gewicht goed op de druk- of trekdozen staat. Bij deze wegen worden platform, verpakking en tank meegewogen. Dit heeft invloed op de nauwkeurigheid, vooral als ze zwaarder zijn dan het te meten product.

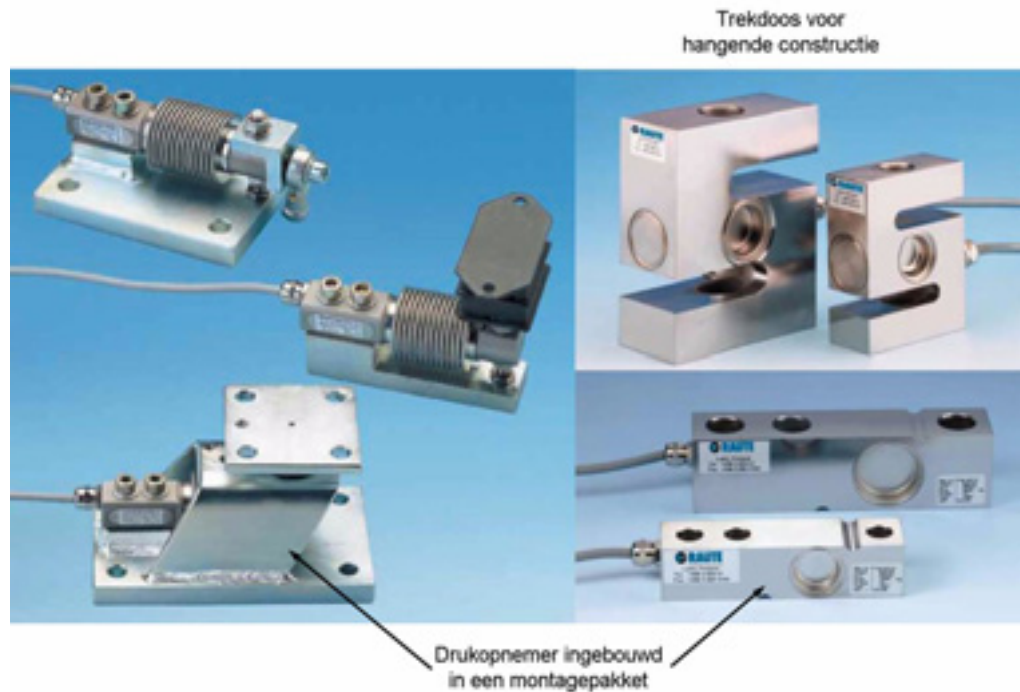
Om deze reden worden er twee metingen uitgevoerd. Bij de eerste meting worden platform, verpakking en tank gewogen. Dit is de zogenaamde tarra-weging. Bij de tweede meting wordt alles gewogen, dus ook het product. Dit wordt de bruto-weging genoemd. Het verschil tussen deze twee metingen is het netto-gewicht. Dit is het juiste gewicht van het product.



Figuur 461 Weegtank

Aansluiting

De aansluiting op het proces kan met de uitvoering van de opnemer worden gerealiseerd zoals in **figuur 463**.



Figuur 462 Uitvoeringsvormen gewicht- of krachtopnemer



Figuur 463 Procesaansluiting

Afhankelijk van het meetbereik en de toepassing zal de grootte en de uitvoeringsvorm worden gekozen. Een paar voorbeelden ziet u in **figuur 462**.

Storingen, inspectie en onderhoud

Door de robuuste uitvoering is de apparatuur weinig storingsgevoelig. Vervuiling moet wel worden tegengegaan ter voorkoming van miswijzingen.

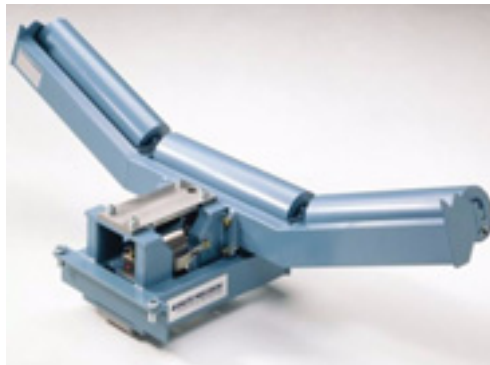
De meest voorkomende oorzaak van een defecte drukopnemer zijn laswerkzaamheden. Een drukopnemer moet altijd elektrisch losgekoppeld worden tijdens laswerkzaamheden.

Kalibreren / testen

Door het plaatsen van bekende (ijk)gewichten op het weeginstrument kan de aanwijzing worden gecontroleerd of gekalibreerd.

Speciale toepassing

Weegband

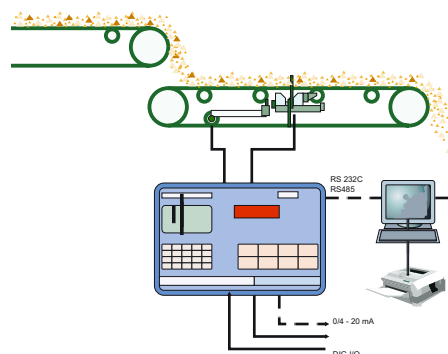


Figuur 464 Weegbandopnemer

- Toepassingsgebied: 5 tot 6000 t/h
- Nauwkeurigheid vanaf 0,5%
- Uitgang 4 – 20 mA of 0-10 Volt

Waar het niet mogelijk is de productstroom te onderbreken, kan een weegband worden toegepast. Een voorbeeld ziet u in **figuur 464**.

Het product wordt over een transportband geleid. Een onder de band geplaatste transportrol is bevestigd op een krachtopnemer. Het gewicht van product en transportband bepaalt de kracht op de opnemer. Het (tarra)gewicht van de band wordt afgetrokken van het totaal zodat het (netto)gewicht van het product overblijft. Omdat het product over de weeginstallatie beweegt, zal ook de bandsnelheid worden gemeten om uiteindelijk het totale gewicht van het gepasseerde product te kunnen bepalen.



Figuur 465 Toepassing weegband

Kalibreren / testen

Met het frequenter plegen van onderhoud, zal ook op afwijkingen moeten worden gecontroleerd.

Opgave

412. Beschrijf hoe u deze installatie zou controleren of kalibreren.

Storingen, inspectie en onderhoud

De weegband heeft meer bewegende delen en is derhalve meer onderhoudsgevoelig. Vervuiling dient te worden tegengegaan om afwijkingen door tarraverschillen en zwaar lopende rollen te voorkomen. De transportband moet ook goed in lijn liggen met de weegrollen, anders drukt de band niet goed tegen de "weegrol" en wordt er geen juist gewicht gemeten.

Snelheid/lengtemetingen

In productieprocessen met veel mechanische bewerkingen is voor een goed verloop de snelheid van belang. Te denken valt aan transportbanden, verpakings- of afvalmachines. De snelheid van de verschillende delen dient dan ook nauwkeurig te worden gemeten en geregeld.

Snelheid transmitter



Figuur 466 Snelheidstransmitter

- meetbereik: 0 tot 600 omw./min.
- Nauwkeurigheid: vanaf 0,05%
- Uitgang 4 – 20 mA, puls of 0-10 Volt

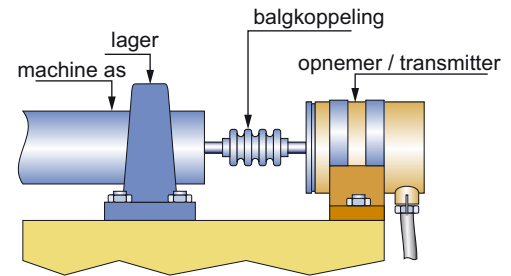
Werking

De as van de opnemer wordt gekoppeld aan die van de machine. In de opnemer/transmitter is de as gekoppeld aan een tandenschijf.

Een initiator telt het aantal tanden dat passeert per tijdseenheid. De meetomvormer berekent de snelheid van de machine en geeft een uitgangssignaal ten behoeve van aanwijs- of regelapparatuur. De vorm van het uitgangssignaal kan veelal worden gekozen bij de meetomvormer b.v. 4 – 20 mA of een puls-sig-naal.

Aansluiting

De aansluiting op het proces wordt uitgevoerd met een flexibele (balg)koppeling. Zie **figuur 467**.



Figuur 467 Aansluiting met balgkoppeling

Kalibreren / testen

De opnemer kan worden gecontroleerd door plaatsing op een testbank waarbij het uitgangssignaal vergeleken wordt met het bekende toerental van de as.

Kalibreren betekent dat er rekening wordt gehouden met overbrengingen die tussen de opnemer en het te meten loopvlak voorkomen. Deze overbrengverhouding dient in de meetomvormer te worden verwerkt. Controle wordt gedaan door precisie meetapparatuur op het loopvlak te plaatsen en deze aanwijzing te vergelijken met het uitgangssignaal van de transmitter. Zo nodig kan de instelling van de transmitter worden aangepast bij deze kalibratie.

Lengtemeting met puls-opnemer

Door met de opnemer het totaal aantal pulsen te meten, in plaats van de pulsen per tijdseenheid, kan de afgelegde afstand worden berekend. Toepassing bijvoorbeeld het meten van de geproduceerde lengte krantenpapier, tapijt of textiel.

Mechanische lengtemeter



Figuur 468 Mechanische lengtemeter

Door een meetwiel mee te laten lopen met het product kan op een mechanisch telwerk de totale lengte van de productie worden afgelezen. Zie **figuur 468**.

Luchtvochtigheid

Bij klimaatregeling (airconditioning) is niet alleen de temperatuur, maar ook de luchtvochtigheid belangrijk. Of het kunstmatige klimaat in leef- en werkruimten als aangenaam wordt ervaren hangt voor een groot deel af van de luchtvochtigheid. De vochtigheidsgraad kan ook heel belangrijk zijn bij productieprocessen of opslagruimten. Bijvoorbeeld: elektronische componenten, sigaretten etc. We onderscheiden twee soorten vochtigheidsgraden, namelijk de absolute en de relatieve. De absolute vochtigheid is het aantal grammen waterdamp in 1 kg lucht. Onder de relatieve vochtigheid verstaat men: het aantal grammen waterdamp in 1 kg lucht, vergeleken met het aantal grammen waterdamp dat die kg lucht bij dezelfde temperatuur maximaal zou kunnen bevatten. Bijvoorbeeld: 1 kg lucht van 20 °C bevat 10,4 gram waterdamp. De maximale hoeveelheid waterdamp die kg lucht van 20 °C kan bevatten is 14,7 gram.

De relatieve vochtigheid is dan:

$$10,4 / 14,7 \times 100\% = 70\%$$

De relatieve vochtigheid wordt altijd uitgedrukt in procenten. Warmere lucht kan meer waterdamp bevatten. Bijvoorbeeld: 1 kg lucht van 20 °C kan maximaal 14,7 gram waterdamp bevatten. Dezelfde hoeveelheid lucht van 30 °C kan maximaal 27,1 gram waterdamp bevatten. Bovengenoemde waarden zijn geldig bij lucht van atmosferische druk.

Een ander veel voorkomend begrip is de dauwpuntstemperatuur. Onder de dauwpuntstemperatuur verstaat men de temperatuur waarbij waterdamp condenseert. Denk aan de dauw op bijvoorbeeld weilanden of auto's. De dauw is het gevolg van de nachtelijke afkoeling van het aardoppervlak. De dauwpuntstemperatuur wordt net als alle temperaturen uitgedrukt in °C of K. Ook deze dauwpuntstemperatuur speelt een belangrijke rol bij koelprocessen en klimaatinstallaties. In ruimtes waar men minder waterdamp wil, gebruikt men vaak een zogenaamde natte koeler. Een deel van de waterdamp komt daar als condens op terecht. Het condensaat wordt daarna afgevoerd. Zo daalt dus de absolute vochtigheid en daarmee tevens de relatieve vochtigheid.



Figuur 469 Relatieve vochtigheids opnemer

- Ruimte- of kanaalmeting
- Toepassingsgebied: 30 tot 100% relatief vocht
- Nauwkeurigheid: 3%
- Uitgang 4 – 20 mA

Werking

De opnemer heeft een zogenaamde hygrometrische opnemer die de relatieve vochtigheid in de lucht kan meten. Een groot aantal zeer dunne kunststof vezels zijn dusdanig geprepareerd dat zij vocht kunnen absorberen of afstaan. Door verandering in de molecuulstructuur verandert de lengte van de vezels. Dat wordt elektronisch gemeten en omgezet in een 4 – 20 mA signaal. Naast deze methode bestaan er ook andere zoals het meten met capacitieve opnemers voor hogere procestemperaturen.

Aansluiting

De opnemer kan met een steun in een ruimte worden geplaatst, maar is ook geschikt om via een schroefverbinding in een luchtkanaal te meten.

Storingen, inspectie en onderhoud

Vervuiling kan het meetresultaat negatief beïnvloeden. Regelmatige inspectie en onderhoud is derhalve noodzakelijk.

Kalibreren / testen

Kalibreren is wat omslachtig in bedrijfssituaties. Met controleapparatuur kan de meting worden gecontroleerd en zonodig bijgesteld. Door de lineaire uitgang is dan testen op slechts enkele waarden voldoende.

Ruimtehygrostaat



Figuur 470 Ruimtehygrostaat

De opnemer kan ook functioneren als ruimtehygrostaat. De uitgang werkt dan overeenkomstig een thermostaat met een instelbare microschemelaar. Zie **figuur 470**.

Vochtgehalte in vaste stoffen of granulaten

Vocht in producten is vaak bepalend voor de kwaliteit en houdbaarheid van een product. In belangrijke mate wordt ook het gewicht bepaald door het vocht. Het product niet droger te maken dan noodzakelijk is belangrijk voor de prijs per kg.

De opnemer bestaat uit een condensator in vlakke uitvoering waar het product langs wordt gevoerd. Bij verandering van het vochtgehalte in het product zal de diëlektrische constante veranderen. Dat wordt weer door de meetomvormer vertaald in een verandering van het uitgangssignaal.

Overige grootheden

Viscositeit

Hieronder verstaat men de dik- of traagvloeibaarheid van een vloeistof. Van de viscositeit hangt af of men een vloeistof kan verpompen. Denk hierbij aan zware stookolie, asphalt maar ook aan de voedingsmiddelenindustrie. Bij veel vloeistoffen is het zo, dat bij verhoging van de temperatuur de viscositeit daalt, dus dunner wordt. Bij zware stookolie is de juiste viscositeit medebepalend voor de goede werking van branders (verstuivers) van ketelinstallaties en grote dieselmotoren. De genormaliseerde eenheid voor viscositeit is Pa.s, vroeger de Poise (P). Andere eenheden voor de viscositeit zijn de graden Engler (°E) en de seconden Redwood (sR)

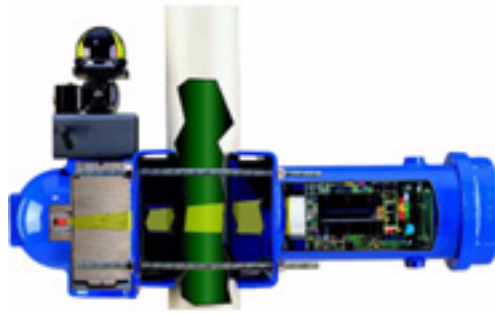
De Pa.s is de dynamische viscositeit. Soms wordt gesproken over de kinematische viscositeit (eenheid Stokes). Dit is de dynamische viscositeit gedeeld door de soortelijke massa. Door het logaritmisch verband tussen viscositeit en temperatuur (bij zware stookolie bijvoorbeeld) kan een kleine temperatuurverandering een relatief grote viscositeitsverandering bewerkstelligen.

Rookgasanalyse

Om bij verbrandingsinstallaties de uitstoot van schadelijke stoffen te beperken en het rendement van het verbrandingsproces op te voeren, voert men metingen voor rookgasanalyse uit. De belangrijkste metingen zijn:

- het O₂-gehalte in % (zuurstofgehalte)
- het CO-gehalte in % (koolmonoxidegehalte)
- het NO_x gehalte in % (stikstofoxidegehalte)

Soortelijke massa



Figuur 471 Soortelijke massa (density) opnemer

De uitvoeringsvorm en de aansluitwijze van deze opnemer komt sterk overeen met die van de massaflowmeter, maar nu wordt alleen de soortelijke massa gemeten.

Daar waar de sensor niet in contact mag komen met het medium, wordt ook wel een radioactieve bron en sensor toegepast. Bijvoorbeeld bij zeer agressieve stoffen, hoge temperaturen of stoffen die een schurende werking hebben.

Opgaven

- 413.** Bij baggerschepen wordt voor het meten van het opgepompte water en zand een soortelijke massa meting gedaan. Hierbij wordt vaak een radioactieve meetmethode toegepast zodat men niet in de leiding hoeft te meten. Waarom plaatst men liever geen opnemer in de leiding?
- 414.** In de papierindustrie wordt voor het meten van de soortelijke massa van de pulp een radioactieve sensor gebruikt. Dit proces gebeurt onder relatief lage druk en temperatuur. Ook zijn hier geen agressieve stoffen aanwezig. Waarom dan toch een radioactief meetprincipe?

Weefsel dichtheid

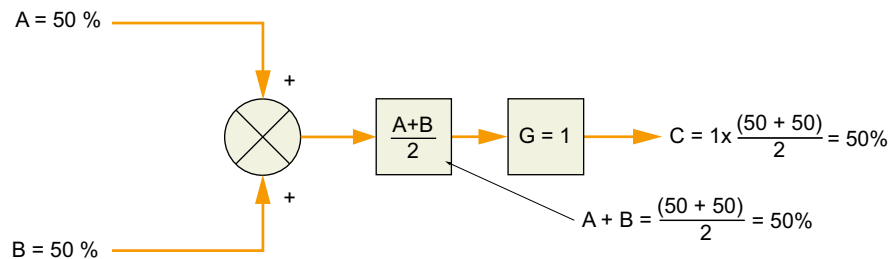
Soms is het van belang de dichtheid van producten als vliezen, tapijten enz. te meten. Door het vlies tussen een radioactieve bron en een stralingsgevoelige opnemer door te voeren, wordt een meting mogelijk. Hoe meer materiaal tussen bron en opnemer, hoe minder straling wordt gemeten als maat voor de dichtheid van het product. De meetomvormer vertaalt dit in een 4 – 20 mA signaal terwijl voor de gemeten waarde de kg/m^2 wordt aangehouden.

Opgaven

- 415.** Verklaar de werking van het proces van **figuur 472**, door aan te geven wat voor grondstoffen er in de ketel gaan en wat er weer uit komt.
- 416.** De ketel wordt gestookt met olie. Welke regeling zorgt ervoor dat de olie de juiste dikte heeft voor de sproeiers in de branders? Geef tevens de werking van die regeling aan.
- 417.** Als er meer stoom wordt afgenomen, wordt dit door twee opnemers waargenomen. Met de bijbehorende regelaars vormen deze samen een cascaderегeling. Welke opnemers zijn dit en wat signaleren ze als er ineens meer stoom wordt afgenomen?
- 418.** Als er meer stoom wordt afgenomen, wordt de hoeveelheid zuurstof (lucht) opgevoerd via een flowregeling. Hoe werkt deze regeling?
- 419.** Wat wordt er in de rookgassen gemeten? Waarmee doet men dat?
- 420.** De verbranding is optimaal. Is het O_2 -gehalte dan hoog of juist laag? En waardoor kan het gehalte O_2 plotseling stijgen?

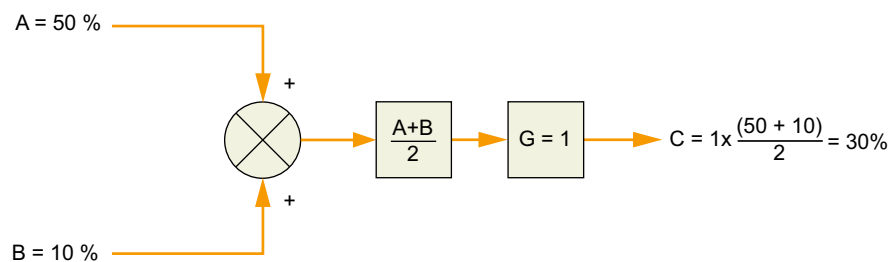
Voor de verhoudingsregeling van lucht en olie gebruikt men een rekeninstrument. Zo'n rekeninstrument kan een worteltrekfunctie hebben of een andere rekenfunctie zoals optellen, aftrekken, delen, vermenigvuldigen of een combinatie hiervan. In dit geval wordt het signaal van de luchtflow opgeteld bij een

kwaliteitssignaal B dat uit de rookgassen weergave van de situatie waarin beide een signaal geven van 50%.



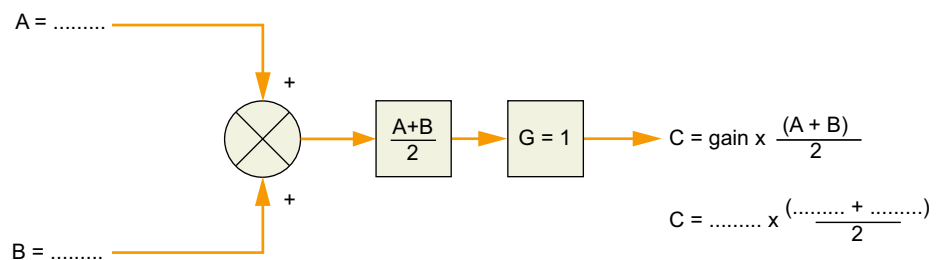
Figuur 473 Blokschema rekeninstrument

In **figuur 474** ziet u de situatie waarin het percentage O₂ terugloopt en het signaal B nog slechts 10% is.



Figuur 474

Figuur 475 staat voor de situatie waarin de flow van de lucht constant is en op 60% van de maximale capaciteit draait. Hierbij loopt het percentage O₂ op van 60% naar 80%.



Figuur 475

Opgaven

- 421. Vul de in **figuur 475** ontbrekende waarden in en bereken het uitgangssignaal.
- 422. Beschrijf in het kort wat er gebeurt indien de stoomdruk ter plaatse van PT daalt.

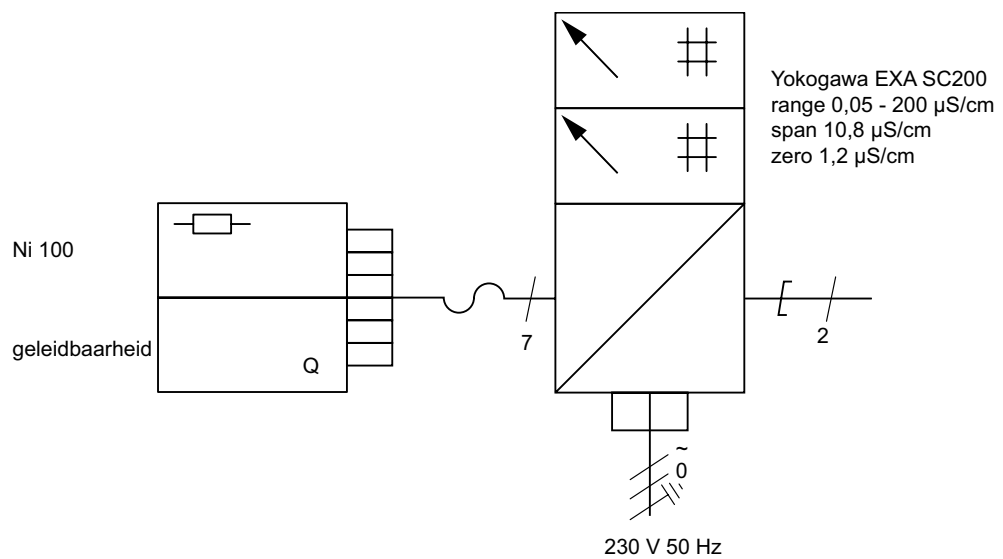
- 423. Een oververhitter heeft als taak de stoom heter te maken. Wat zegt dit over de druk en de temperatuur vóór en na de oververhitter?
- 424. Wat voor transmitter is 'PDT' en wat meet deze: een drukverschil over of de flow door de oververhitter?

Een natuurkundig verschijnsel maakt de niveauregeling in de drum buitengewoon lastig. We moeten dit verschijnsel kort toelichten, voordat we verder op de regeling ingaan. Stel dat er veel stoom wordt afgenomen. Dat betekent dat er water wordt gebruikt uit de drum. Om het niveau op peil te houden moet dan dezelfde gewichtshoeveelheid aan voedingwater door de regelklep worden geleverd. Meten we nu alleen het niveau dan gebeurt er iets vreemds. Op het moment dat er veel stoom wordt gebruikt zakt de druk in de drum. Hierdoor ontstaan dampbellen in het water. Nu geldt dat een drukverlaging, ook een kookpuntsverlaging geeft. Het water in de drum gaat sneller koken. Hierdoor stijgt het niveau, omdat de grote hoeveelheid dampbellen ook ruimte vragen. (Denk maar eens aan het koken van melk in een steelpannetje). Het gevolg is dat als er veel stoom wordt afgenomen het niveau in de drum niet zakt maar stijgt. Daarom is een gewone niveauregeling ongeschikt. Wanneer er geen grote hoeveelheden stoom meer worden afgenomen, dan stijgt de druk weer in de drum.

Opgaven

- 425.** Wat gebeurt er in **figuur 472** als het niveau in de drum zo laag is dat het L-alarm van de 'LICZA 4-3' aanspreekt?
- 426.** Laat de niveautransmitter met bijbehorende regelaar even buiten beschouwing. Hoe werkt dan de niveauregeling (massaregeling kg/stoom ten opzichte van kg/water) bestaande uit 'PDT 4-2', 'FIC 4-6' en 'FT 4-7' van de voedingwatervoorziening?
- 427.** Als de stoomafname weer normaal is, zal het niveau in de drum snel dalen. Dit, terwijl de 'PDT 4-2' minder flow meet. Hoe wordt er in **figuur 472** voor gezorgd dat het niveau nu toch weer op peil komt? Waarmee doet men dat?
- 428.** Wat is de functie van het rekeninstrument tussen de 'PDT 4-2' en 'LICZA 4-3'?
- 429.** De temperatuurregeling van de geleverde stoom wordt in **figuur 472** door een inspuikoeleer verzorgd. In oude installaties komt men ook motorgestuurde bypass kleppen tegen die de hoeveelheid warmte van de oververhitters er naar behoefte omheen leiden. Wat gebeurt er als de inspuikoeleer water in oververhitte stoom spuit?
- 430.** Stel dat u het rekeninstrument tussen de 'TIC 3-2' en 'FIC 3-4' even vervangt door een doorverbinding. (Hierdoor doet 'PDT 4-2' niet mee). Geef aan hoe in dat geval de temperatuurregeling werkt.
- 431.** Wat gebeurt er als de temperatuur van de afgenomen stoom goed is, maar de afgenomen hoeveelheid stoom ineens fors toeneemt? Tip: Er wordt dus meer hete stoom geleverd, terwijl er evenveel water wordt ingespoten.
- 432.** Wat is wanneer u de vorige opgave in gedachte houdt, de bedoeling van het rekeninstrument en 'PDT 4-2'?

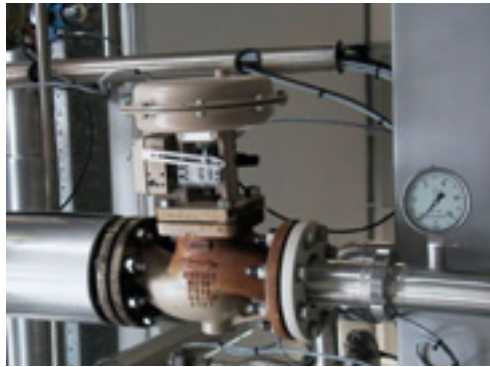
433. De gebruikte opnemer QT 5-1 in **figuur 472** kan geen hoge temperaturen verdragen. Verklaar in dit geval waarom 'QT' niet rechtstreeks in de drum meet, maar via het monsterpompje?
434. De specifieke geleidbaarheid van het voedingswater, die normaal tussen de 1,2 en 12 μS ligt, komt op een gegeven moment boven de 12 μS . Wat gebeurt er dan met de spuiklep?
435. Welke regeling zorgt ervoor dat het water in de drum weer wordt aangevuld nadat er water door het spuien verloren gaat? Ook al is de doorlaat van dat spuiklepje klein t.o.v. de voedingwaterklep.
436. In de bijlagen ziet u de documentatie van een geleidbaarheidstransmitter. Deze meet behalve de specifieke geleidbaarheid nog iets. Wat is dat?
437. Maak het installatiesymbool af van **figuur 476**. De range is 0,05 tot 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Het meetbereik is 1,2 tot 12 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 4 - 20 mA. De temperatuur wordt gemeten met een Ni 100 weerstandsoptnemer. Het bereik ervan gaat van $-10\text{ }^\circ\text{C}$ tot $+200\text{ }^\circ\text{C}$.



Figuur 476

Hoofdstuk 14 Corrigerende organen

Inleiding Het corrigerend orgaan is in de regelkring het onderdeel dat daadwerkelijk ingrijpt in het proces.



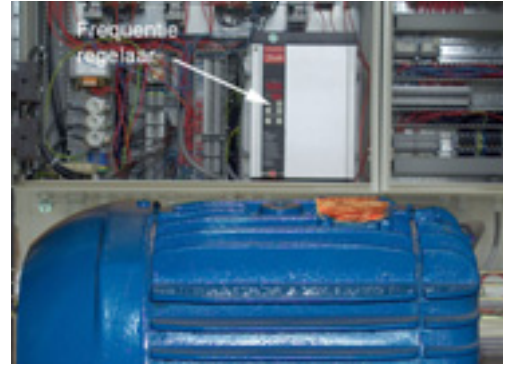
Figuur 477 Pneumatische regelklep in proces

In dit hoofdstuk komen de volgende onderwerpen aan de orde:

- Pneumatische regelklep
- Klepkarakteristieken
- Aansluiten regelkleppen
- Elektro-pneumatische omvormer
- Elektro-pneumatische klepstandsteller
- Storingen en onderhoud
- Afstellen regelafsluiters en klepstandstellers
- Splitrange regeling
- Diverse uitvoeringsvormen van kleppen
- Pomp als corrigerend orgaan
- Elektrische verwarmers als corrigerend orgaan



Figuur 478 Elektrische regelklep in proces



Figuur 479 Frequentieregelaar

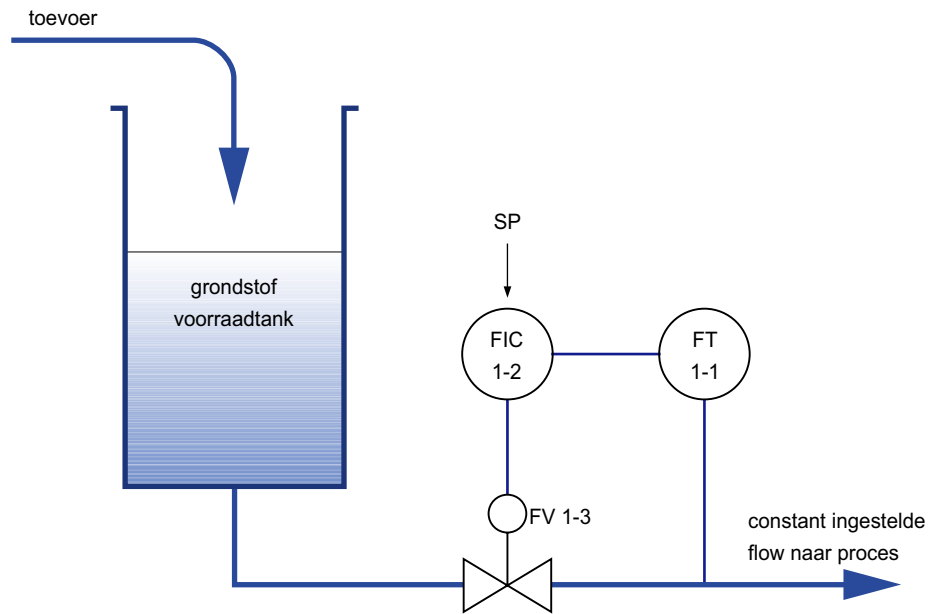


Figuur 480 Doseerpomp

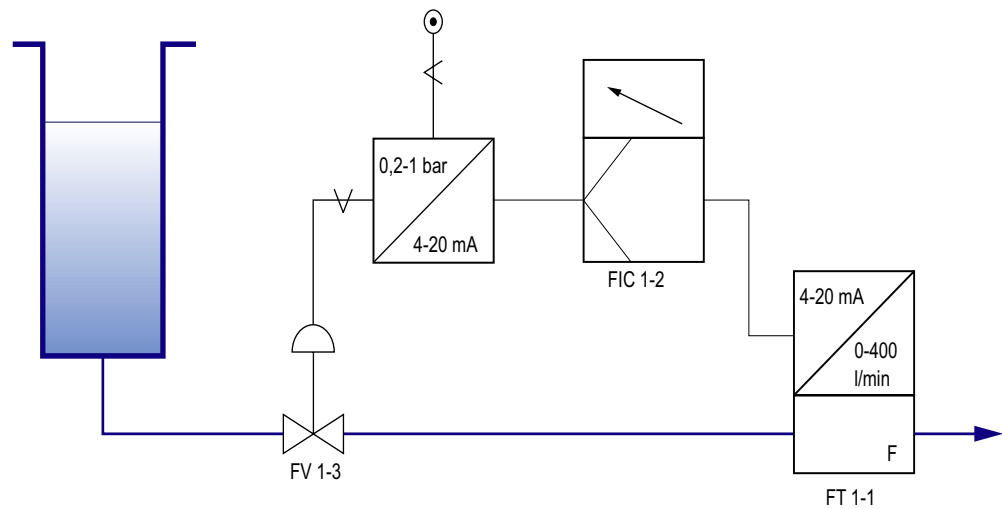


Figuur 481 Elektrische verwarming

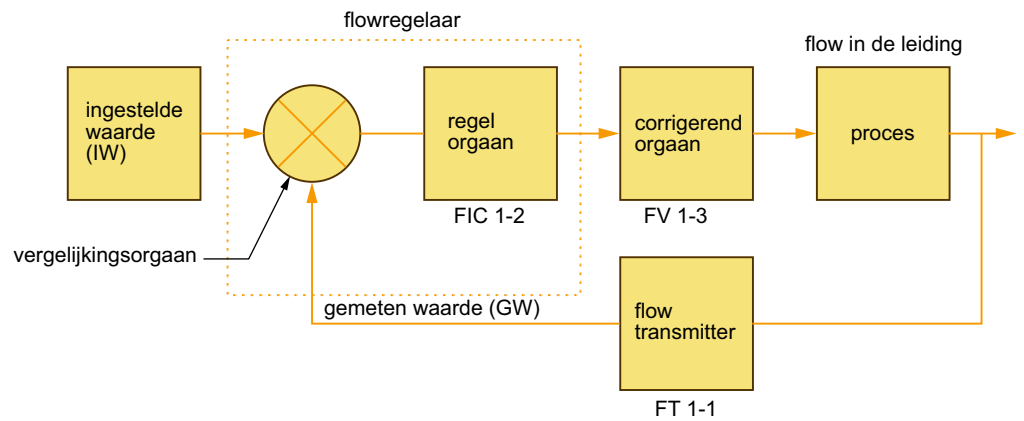
Het corrigerend orgaan in de regelkring



Figuur 482 P&I-schema van flowregeling



Figuur 483 Installatieschema flowregeling

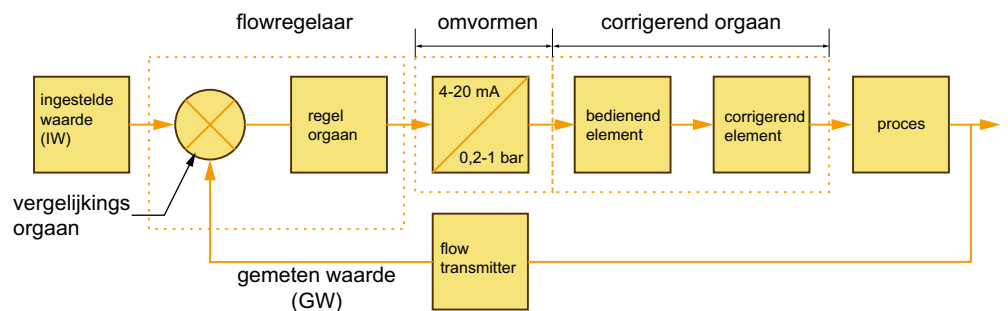


Figuur 484 Blokschema flowregeling

De **figuur 482** t/m **figuur 484** geven een eenvoudige flowregeling. Onafhankelijk van de vloeistofhoogte en de grondstofvoorraadtank dient een constante, in te stellen hoeveelheid grondstof geleverd te worden.

veel overeenkomsten. In **figuur 485** is de regelkring van **figuur 484** weergegeven, waarbij het corrigerend orgaan in verschillende functies is opgesplitst.

Corrigerende organen verschillen wat betreft toepassing en constructie zeer veel van elkaar. Kijken we echter functioneel naar corrigerende organen, dan hebben zij juist heel

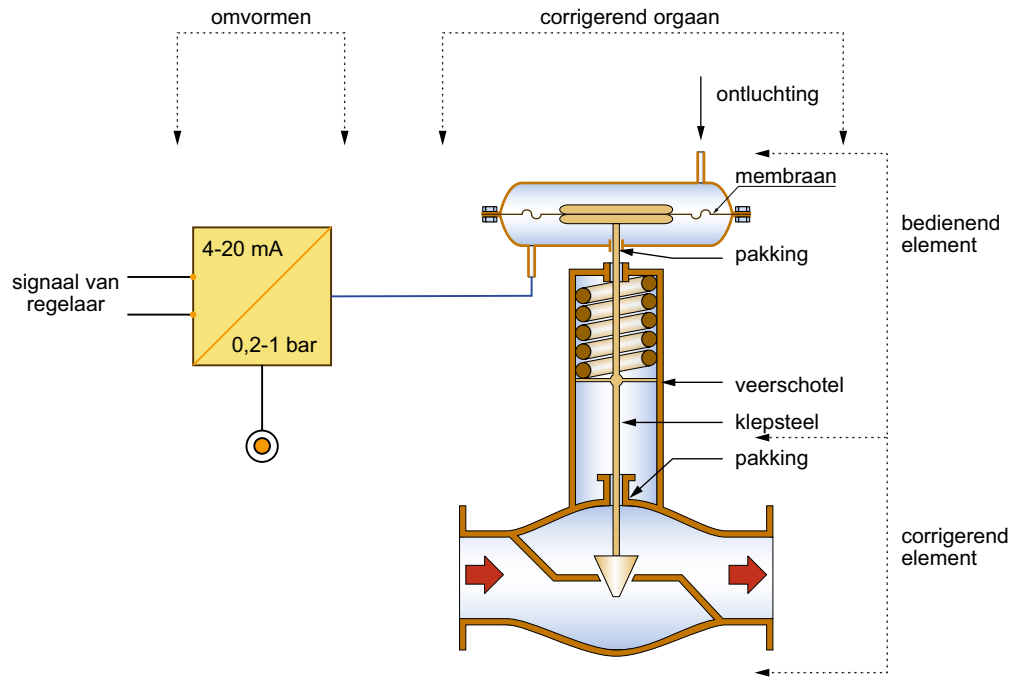


Figuur 485 Blokschema flowregeling functies corrigerend orgaan

Bedienend en corrigerend deel

Het corrigerend orgaan bestaat uit een bedienend element en een corrigerend element. Het corrigerend element is het deel dat rechtstreeks ingrijpt in het proces. Het bedienend element is in feite de aandrijving of bediening van het corrigerende element.

In **figuur 486** is het membraan samen met de veer (ook wel actuator of luchtmotor genoemd) het bedienend of aandrijvend element.



Figuur 486 Bedienend-en corrigerend-element met omvormer

Luchtgestuurde membraanaandrijvingen van kleppen worden veel toegepast. In **figuur 486** is de regelklep voorzien van een omvormer, die het elektrisch signaal van de regelaar omzet in een pneumatisch signaal voor het bedienend element van de regelklep. Een elektronische regelaar kan dan via de omvormer de pneumatisch aangedreven klep regelen. Perslucht als hulpenergie is dan noodzakelijk.

Wordt een klep met een hydraulische zuiger en cilinder bediend, dan is deze hydraulisch bediend en is dus ook hydraulische druk als hulpenergie nodig.

Wordt de klep aangedreven door een elektromotor, dan is deze het bedienend element en is er extra elektrische hulpenergie noodzakelijk.

Pneumatische regelklep



Figuur 487 Pneumatisch aangedreven regelklep

- Veel gebruikte regelklep
- Pneumatische aandrijving
- Diverse klepuitvoeringen
- Omkeerbare werkingsrichting
- Diverse materiaalsoorten en uitvoeringsvormen
- Lage- en hoge druk/temperatuur uitvoering

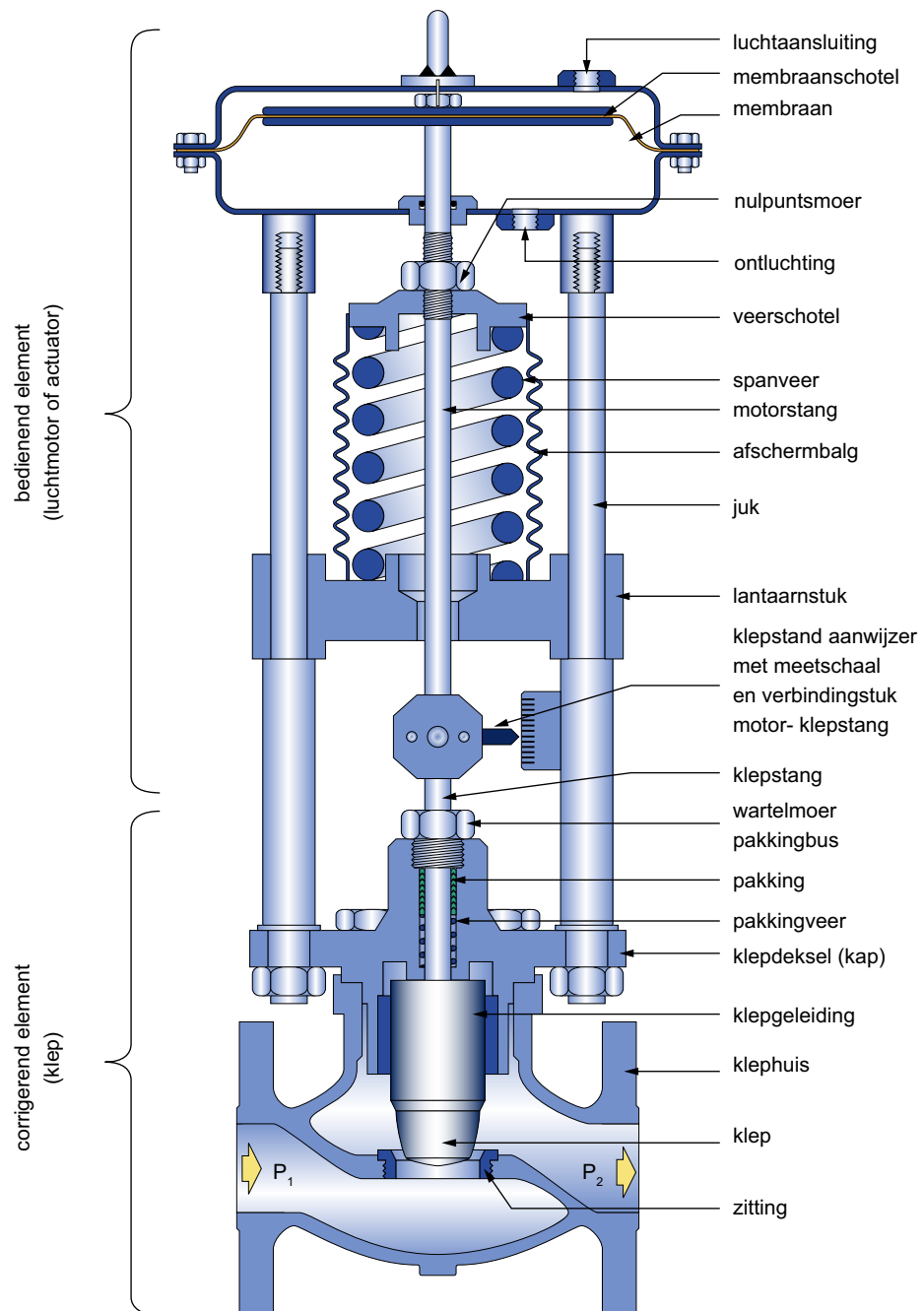
Werking

Het bedienend element (actuator) is een luchtmotor en het corrigerend element is een plugkraan. Zie **figuur 488**.

Bij het wegvallen van de stuurdruk of de hulp-energie (perslucht) zal de klep open staan. Niet in alle gevallen is dit een veilige stand; denk aan het ongecontroleerd leeglopen van een tank. Zie **figuur 482**.

De veer drukt de motor- en klepstang omhoog waardoor de klep open staat. Door op de luchtaansluiting een druk aan te sluiten, variërend van 0,2 tot 1 bar, wordt de klep tegen de werkingsrichting van de veer in naar beneden gedrukt waardoor de klep sluit.

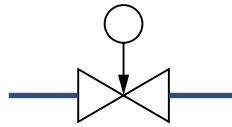
Om de werkingsrichting van de klep om te keren wordt de nulpuntsmoer, de veerschotel en het lantaarnstuk omgedraaid. Om de klep nu open te sturen wordt de perslucht aan de onderzijde van het membraan aangesloten.



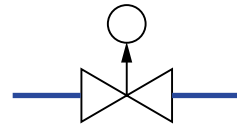
Figuur 488 Pneumatisch aangedreven regelklep

In bepaalde gevallen is het wenselijk de regelklep bij het wegvallen van de hulpenergie te laten staan in de stand waarop hij op dat moment stond.

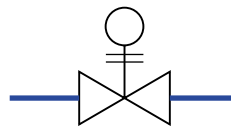
Afhankelijk van het proces moet worden gekozen welke uitvoering nodig is om een veilige bedrijfssituatie te garanderen in het geval dat de besturing uitvalt. Diverse benamingen worden hiervoor gebruikt. Zie **figuur 489**.



veersluitend - drukopenend - normaal gesloten
air to open (a.t.o.) - normally close (N.C.)



veeroopenend - druksluitend - normaal geopend
air to close (a.t.c.) - normally open (N.O.)



Bij het wegvallen van de hulpenergie
behoudt de klep zijn stand

Figuur 489 Uitvoeringen van regelkleppen

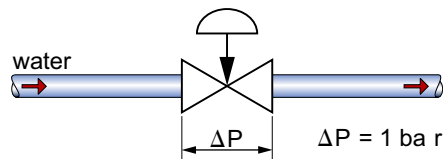
De capaciteit van de regelklep

De regelklep in de leiding is een instelbare stroomweerstand. Iedere klep heeft zijn eigen stroomweerstand. Maar daarmee is de maximale flow bij een volledig geopende klep nog niet vastgelegd. De maximale flow hangt ook af van het drukverschil over de klep. Om de maximale flow bij volledig geopende klep te berekenen, moet men de drukval of het drukverschil over de klep kennen. Om de capaciteit van een regelklep te kunnen opgeven en vergelijken, bestaat er een Kv-factor. Deze factor geeft de capaciteit weer onder gestandaardiseerde condities.

De definitie voor de Kv-coëfficiënt - ook wel Kv-factor of klepconstante - luidt als volgt:

De Kv waarde is het aantal m³ water per uur, dat door de geheel geopende klep stroomt bij een drukverschil van 1 bar over de klep, gemeten tussen de flenzen, bij een temperatuur van 20 °C.

Figuur 490 geeft hiervan een beeld. Over de klep heerst een drukverschil van 1 bar. Is er na één uur bijvoorbeeld 6 m³ water gepasseerd, dan is de Kv-waarde 6.



Figuur 490 Drukverschil over een regelklep

In de praktijk moet er vanuit bedrijfscondities worden teruggerekend naar 1 bar drukverschil en een soortelijke massa van 1000kg/m³. Dit valt buiten het bestek van de cursus.

De capaciteit van de regelklep wordt dus bepaald door de Kv-waarde. Hierbij hoort een bepaalde afmeting van de klep en zitting. Vervolgens hoort hier een passend klephuis bij, aangegeven in nominale maten. Zie **figuur 491**.

Gangbare Kv-waarden voor kleppen met een nominale maat tussen DN 15 en DN 100				
Nominale maat	Kv-factor			
DN 15	0,09 t/m	0,14	0,25	0,4
DN 20	0,63	1,0	1,6	
DN 25	4	6,3	10	
DN 32	6,3	16		
DN 40	10	16	25	
DN 50	16	25	40	
DN 65	25	40	63	
DN 80 en DN 100	40	63	100	160

Figuur 491 Tabel Kv-waarden voor kleppen

In Amerika wordt de Cv-waarde gehanteerd. Volgens de Amerikaanse definitie is de Cv-waarde van een regelafsluiter het aantal U.S. gallons water per minuut van 60°F, dat door een geheel geopende afsluiter stroomt bij een drukverschil over de afsluiter van 1 psi. Men kan de Cv-waarde omrekenen in een Kv-waarde of omgekeerd. Hiervoor geldt:

$$Kv = 0,86 \times Cv$$

Voor een goede regeling dient de regelklep de grootste weerstand in de procesleiding te hebben. Het bepalen van de juiste Kv-waarde is zeer belangrijk voor de goede werking van de regelkring. Daartoe dient de klepberekening. Het voert te ver deze berekeningen hier te behandelen.

Klepkaracteristieken

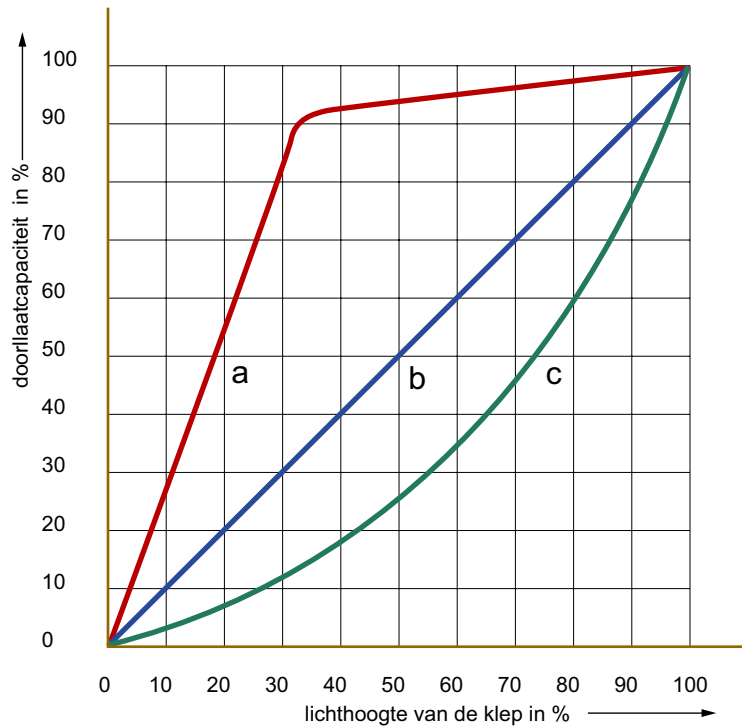
Bij regelkleppen is de stand van de klep recht evenredig met het stuursignaal. Dat wil niet zeggen dat dit ook recht evenredig is met de doorstroomhoeveelheid. Deze hoeveelheid hangt ook af van variaties in het drukverschil over de klep bij verschillende klepstanden.

Om een optimale regeling te realiseren wordt een klepvorm gekozen met een karakteristiek, passend bij het betreffende proces.

De meest toegepaste karakteristieken zijn:

- a. open - dicht
- b. lineair
- c. equiprocentueel

In **figuur 492** ziet u de klepkarakteristiek van deze kleppen, bij een gelijkblijvende drukval over de klep.



Figuur 492 Klepkarakteristiek

De aan-uitklep

(zie **figuur 492** curve a)

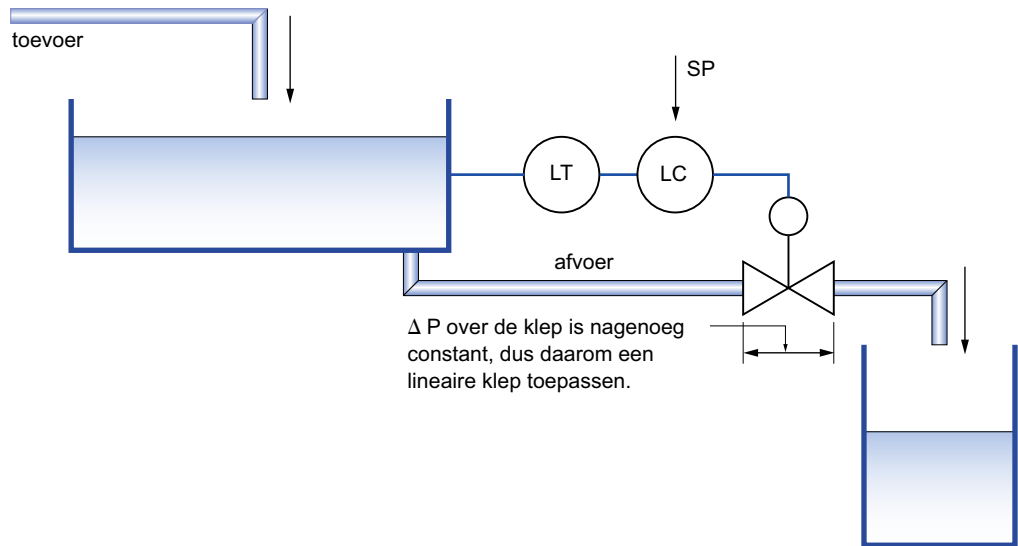
De aan-uitklep is zo gevormd, dat hij al bij een kleine lichthoogte een maximale doorstroming geeft. Uit de klepkarakteristiek van **figuur 492** blijkt dat bij een lichthoogte van 30% de doorlaat reeds 85% is. Een dergelijke klep wordt gebruikt voor open/dicht-regeling, ook wel twee-standenregeling genoemd.

De lineaire regelklep

(zie **figuur 492** curve b)

Bij een lineaire regelklep daalt of stijgt de hoeveelheid vloeistof door de klep recht evenredig met de stand, dus met de lichte hoogte van de klep; vooropgesteld dat de drukval over de klep gelijk blijft. Lineaire kleppen worden gebruikt in gevallen, waar een grote en vrij constante drukval over de klep optreedt.

Een proces waar dit type veel wordt gebruikt is de niveauregeling, waarbij de druk voor de klep constant wordt gehouden door de statische druk van een vloeistof in een niveaubak, terwijl er na de klep een vrije uitstroomopening is. De drukval over de klep is dan constant. In **figuur 493** ziet u het P & I-schema van een dergelijke regeling.



Figuur 493 P & I-schema voor constante drukval

Opgave

438. Neem aan dat de regeling in **figuur 493** goed werkt. Wat gebeurt er wanneer u de regelklep vervangt door een aan-uitklep?

De equiprocentuele klep

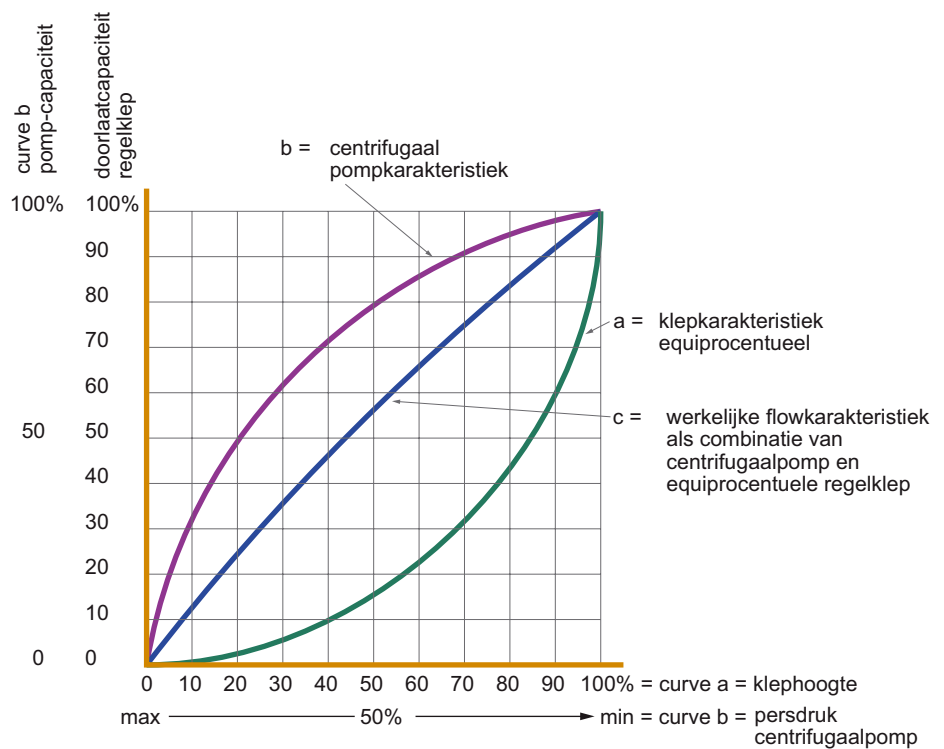
(zie **figuur 492** curve c)

In processen waarvan de druk bij verschillende flows over de regelklep niet constant blijft, bijvoorbeeld wanneer aanzienlijke belastingvariaties voorkomen, is het praktisch onmogelijk middels een klep met lineaire karakteristiek een evenredig verband te krijgen tussen klepstandverandering en flowsterkteverandering. Zie **figuur 492**, curve c. Een voorbeeld hiervan staat in **figuur 495**. Een centrifugaalpompeerst drinkwater via een lange leiding naar afnemers.

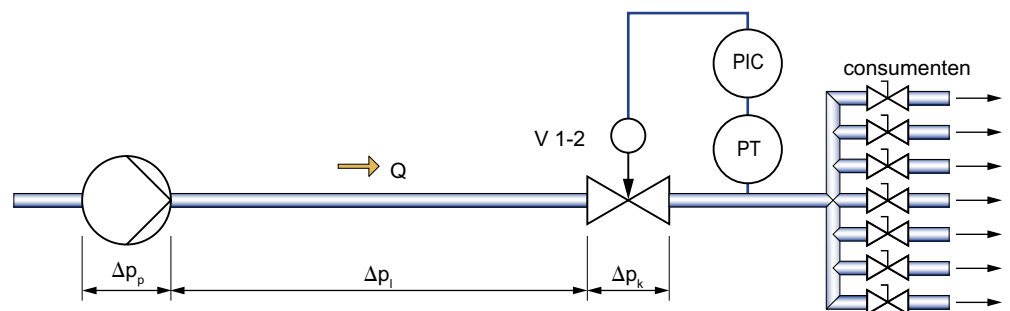
Van centrifugaalpompen is bekend, dat bij een hoge opbrengst (Q) de druk (p) lager is dan bij kleine opbrengst. Bovendien is het drukverlies p_l bij grote opbrengst (Q) groter dan bij kleine opbrengst. Met andere woorden het drukverschil over de regelklep Δp_k is bij kleine opbrengst groot en bij grote opbrengst klein. Door een equiprocentuele klep te kiezen, kan men het verband tussen lichte hoogte van de klep en de flow zo lineair mogelijk houden bij een wisselende drukval (zie **figuur 494**).

Met andere woorden:

De equiprocentuele klep geeft bij een kleine flow een geringe correctie en bij een grote flow een grote correctie.



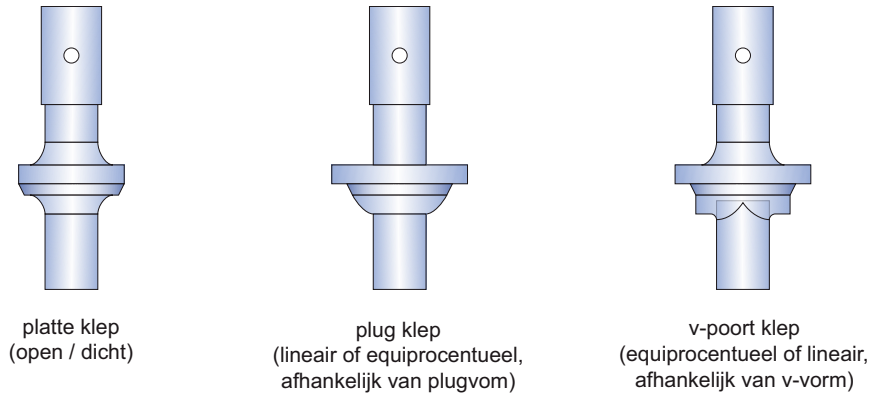
Figuur 494 Klepkarakteristiek



Figuur 495 P & I schema

Klepvormen

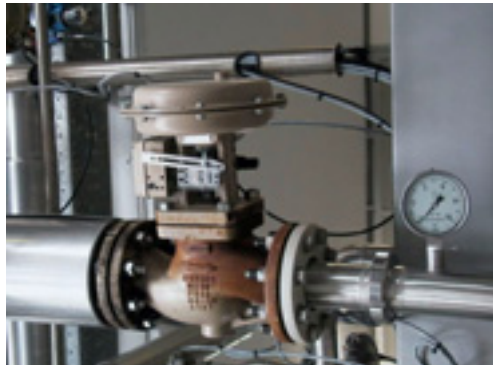
In **figuur 496** ziet u een aantal voorbeelden van klepvormen.



Figuur 496 Voorbeelden van klepvormen

Aansluiten regelkleppen

De regelklep wordt meestal met flenzen ingebouwd in de procesleiding, zie **figuur 497**. Ook kan het noodzakelijk zijn om sanitaire aansluitingen toe te passen, bijvoorbeeld in de voedselindustrie, zie **figuur 498**.

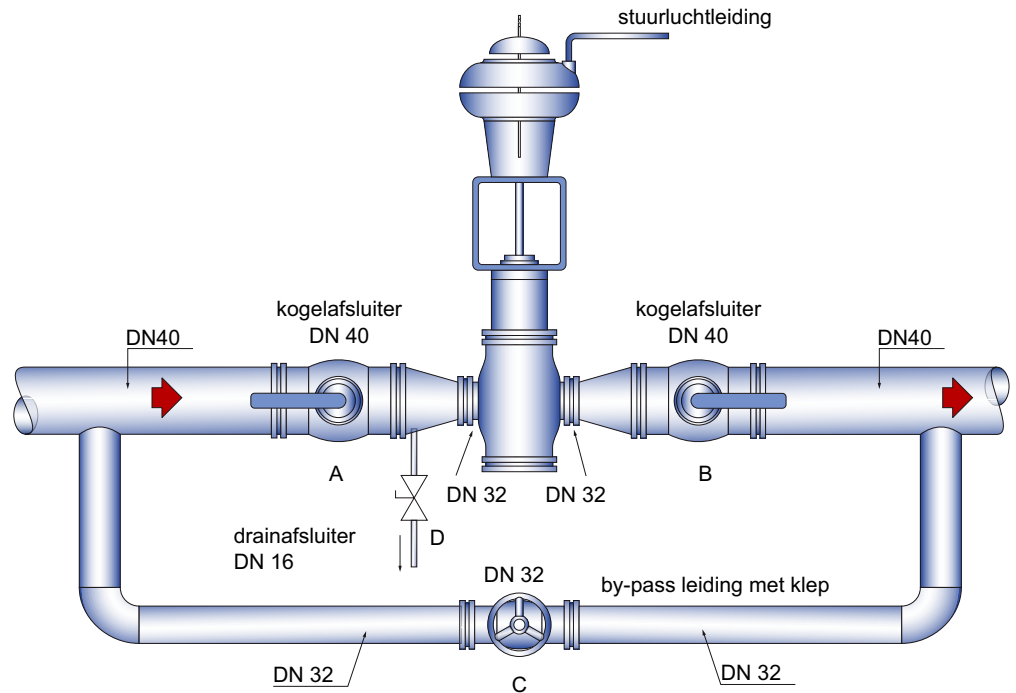


Figuur 497 Regelklep met flensaansluiting



Figuur 498 Regelklep met sanitaire aansluiting

In een procesleiding monteert men de regelklep soms in combinatie met drie handbediende afsluiters.



Figuur 499 Regelklep, ingebouwd in een procesleiding

Men kiest de grootte van de regelklep kleiner dan de procesleiding zodat de stroomweerstand in de regelklep groter is dan de stroomweerstand van de procesleidingen. Dit is goed voor de regelactie van de klep.

De afsluiters A en B krijgen de grootte van de procesleiding, dus ook DN 40 om zo min mogelijk weerstand te bieden. Afsluiter C en de toevoer- en afvoerleiding (de omloopleiding) van deze klep moeten dezelfde grootte hebben als de regelklep, in dit geval dus DN 32.

In normaal bedrijf zijn de handafsluiters A en B geopend en is afsluiter C gesloten. Wanneer er onderhoud aan de regelklep wordt gedaan, sluit men de afsluiters A en B en wordt afsluiter C met de hand geregeld, ook wel bypassregeling genoemd. Om de regelklep veilig te demonteren zal met het openen van de afsluiter D het leidingdeel tussen de afsluiter A en B drukloos worden gemaakt.

Hierbij moet met nadruk worden opgemerkt dat bij productieprocessen die aan hoge kwaliteitseisen moeten voldoen, niet altijd met de hand geregeld mogen worden.

Natuurlijk moet de regelklep, net als de leiding, bestand zijn tegen dezelfde druk, temperatuur en medium.

Het materiaal van de klep

In sommige gevallen moet de klep tegen hoge temperaturen, drukken en agressieve stoffen zoals zuren, logen en zouten kunnen. Het materiaal van het klephuis is dus afhankelijk van zijn toepassing.

Materiaal	Toepassing
gietijzer	lage drukken / temperaturen
gietstaal	hoge temperaturen/drukken
roestvaststaal	hoge temperaturen/drukken en agressieve vloeistoffen
brons	lage drukken/temperaturen

Figuur 500 Klepmaterialen

De stoomwet verbiedt toepassing van brons, maar ook koper en messing wanneer de kans bestaat, dat de materiaaltemperatuur 214 °C of hoger wordt. Ook kan de binnenzijde bekleed zijn met bijvoorbeeld lood, eboniet of teflon. De zitting is vaak van roestvaststaal. De plug kan, afhankelijk van de doorstromende vloeistof, in elk gewenst materiaal worden uitgevoerd. Wanneer een zeer goede afdichting nodig is, wordt de plug bekleed met teflon of hard rubber. Zie **figuur 501**.



Figuur 501 Klep met teflon afdichting

De nominale maat en de nominale druk van het klephuis

De nominale maat van de flenzen en de nominale druk worden meestal aangegeven in één van de twee standaarden, te weten:

- DIN (Deutsche Industrie Norm)
- ANSI (American National Standards Institution)

DIN wordt in de Europese industrie algemeen geaccepteerd, terwijl ANSI vooral in Amerika, maar ook in de petrochemische industrie wordt gebruikt.

De nominale maat, de nominale druk volgens DIN

Een regelklep kent een nominale maat en een nominale druk. De nominale maat DN is de maat van de aansluiting van het huis op de leiding. De nominale druk PN is de maximaal toelaatbare druk. Bij hogere temperaturen kan het materiaal zodanig van structuur veranderen, dat de maximaal toelaatbare druk gevaar oplevert. De maximaal toelaatbare druk hoort dan ook altijd bij een hoogst toegestane temperatuur.

Voorbeelden: de nominale maat van een klep is DN 25 en de drukklasse bedraagt PN 40.

Opmerking:

- DN = nominale maat (D=diameter)
- PN = nominale druk (P=pressure)
- DN 25 wil zeggen: nominale maat = 25 mm (inwendige diameter van de aansluiting)
- PN 40 betekent dat tot een bepaalde temperatuur de nominale druk 40 bar is

Kleppen volgens DIN zijn in de handel verkrijgbaar met de volgende nominale maten:

Nominale maten		
DN 15	DN 40	DN 100
DN 20	DN 50	DN 150
DN 25	DN 65	DN 200
DN 32	DN 80	DN 250
		DN 300

Figuur 502 Tabel nominale maten volgens DIN

De nominale klasse kunnen zijn:

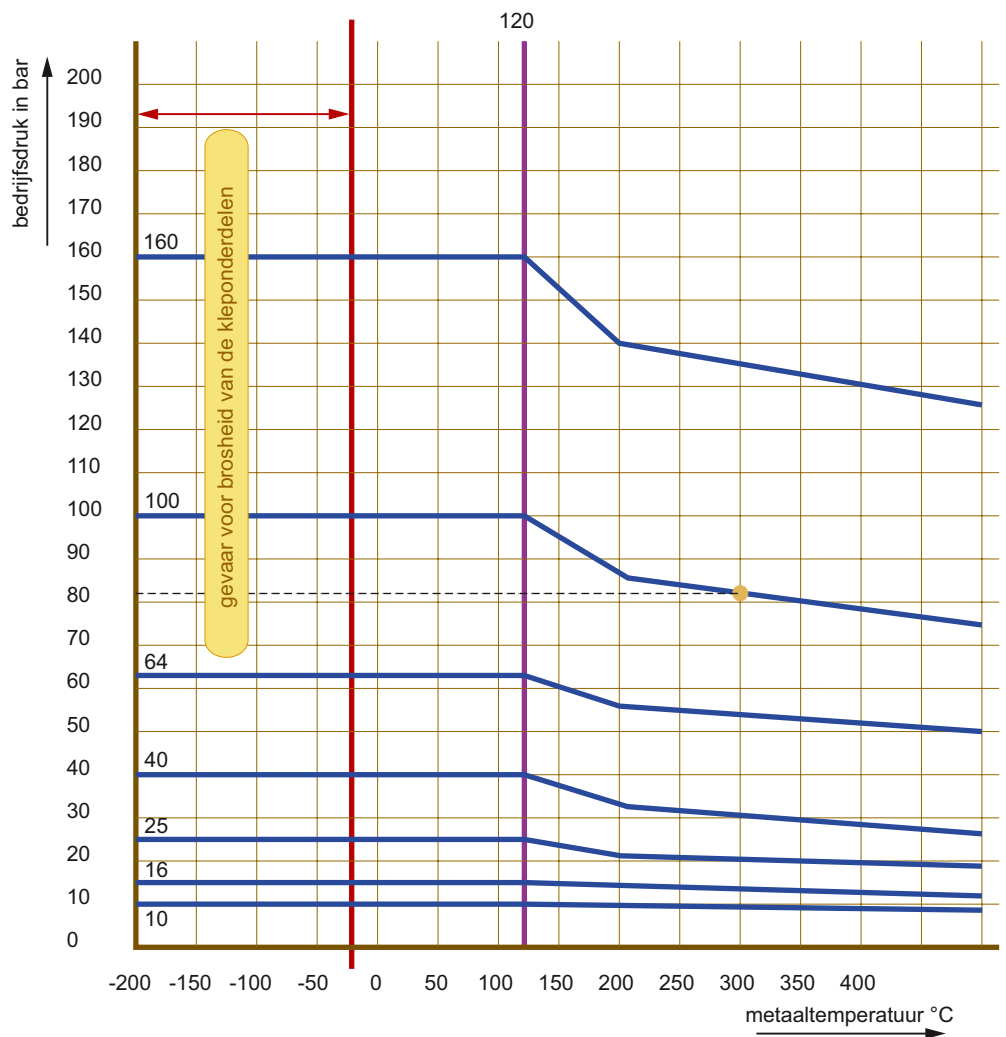
Nominale klasse		
PN 10	PN 64	PN 320
PN 16	PN 100	PN 400
PN 25	PN 160	
PN 40	PN 250	

- gietijzer
- gietstaal
- roestvaststaal
- brons

De maximale druk, waarbij de klep mag worden toegepast, hangt af van de temperatuur waaronder de klep moet werken. **Figuur 504** geeft een voorbeeld van de relatie temperatuur en druk van een regelafsluiter in een roestvaststalen uitvoering.

Figuur 503 Tabel nominale maten volgens DIN

De nominale druk is afhankelijk van het soort materiaal. Deze materialen zijn bijvoorbeeld:



Figuur 504 Keuzediagram voor de nominale druk

Duidelijk is te zien, dat in het temperatuurgebied van -200 tot +120 °C de procesdruk gelijk mag zijn aan de nominale druk. De nominale druk kan zijn: PN 10, 16, 25, 40, 64, 100 of 160 bar. Boven een temperatuur van +120 °C daalt de werkdruk. Bij de PN 100-uitvoering blijkt de maximale werkdruk bij +300 °C gelijk te zijn aan ongeveer 83 bar.

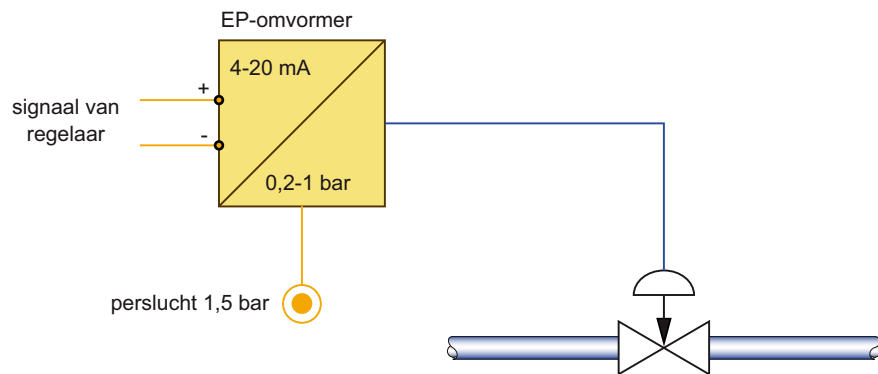
Elektro- pneumatische omvormer



- ingang 4 – 20 mA
- uitgang 0,2 – 1 bar
- bij regelklep geplaatst
- geen hoge eisen gesteld aan de regeling
- Installatieschema

Hij wordt toegepast bij regelingen waar **géén** hoge eisen worden gesteld aan de nauwkeurigheid en een exacte klepstand.

Figuur 505 EP-omvormer



Figuur 506 Aansturing van een pneumatische regelklep door een EP-omvormer.

De elektro-pneumatische omvormer zet een elektrisch stuursignaal van de regelaar om in een luchtdruksignaal naar de pneumatische regelklep. Door tegendruk van het proces of weerstand in de geleiding en doorvoering van de luchtmotor en klepstang komt de klep niet in de stand die overeenkomt met die van het stuursignaal. Indien de proceseisen hoog zijn, is het noodzakelijk dat de klepstand wel exact overeenkomt met het stuursignaal. De omvormer wordt in dit geval vervangen door een elektro-pneumatische klepstandsteller.

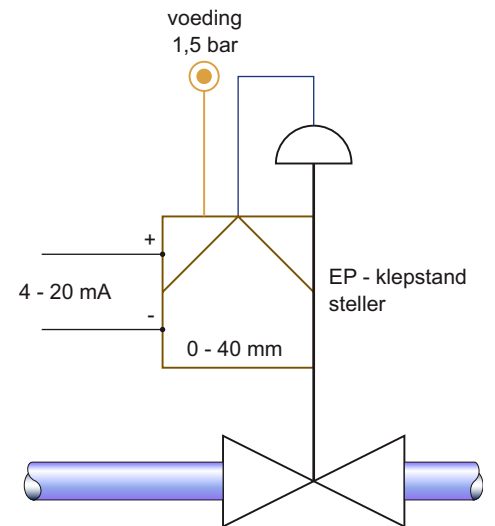
Elektro- pneumatische klepstandsteller



Figuur 507 Aansturing door middel van een klepstandsteller

- ingang 4 – 20 mA
- uitgang tot bijna de perslucht voedingdruk
- op de regelklep gemonteerd
- mechanische of elektrische terugkoppeling van klepstand
- nauwkeurige positionering van de klep

Naast het EP-omvormen zorgt de standsteller er voor dat de stand van de klep overeenkomt met het bijbehorende ingangssignaal. De klepstandsteller is vergelijkbaar met een proportionele regelaar. De ingestelde waarde is het 4 – 20 mA signaal afkomstig van de (druk-, flow-, temperatuur-) regelaar van de regelkring. De gemeten waarde is nu de stand van de klep die door mechanische of elektrische terugkoppeling vergeleken wordt met de ingestelde waarde. In dit geval is dit het uitgangssignaal van de regelaar van de klepstandsteller. Bij verschil zal het uitgangssignaal de klep verder aansturen tot de bijbehorende klepstand is bereikt.



Figuur 508 Aansturing door middel van een klepstandsteller

Storingen en onderhoud regelkleppen en standstellers

Aan regelkleppen wordt in de regel door de gebruiker alleen eerstelijns onderhoud gepleegd (inspectie, schoon maken, testen en afstellen). Bij beschadiging of slijtage wordt de leverancier of een gespecialiseerd bedrijf ingehuurd. Indien een gevaarlijke, corrosieve of toxische stof door de regelklep stroomt, dienen speciale voorzieningen te worden getroffen voordat de regelklep wordt uitgebouwd.

Opgaven

439. Wat zijn volgens u de mogelijk voorkomende storingen bij regelkleppen?

440. Waar let u op als een regelklep met klepstandsteller moet worden vervangen na een storing?

Vul in de onderstaande tabel twee onderhoudspunten in.

Onderhoudspunten	Toelichting

Figuur 509 Tabel onderhoudspunten

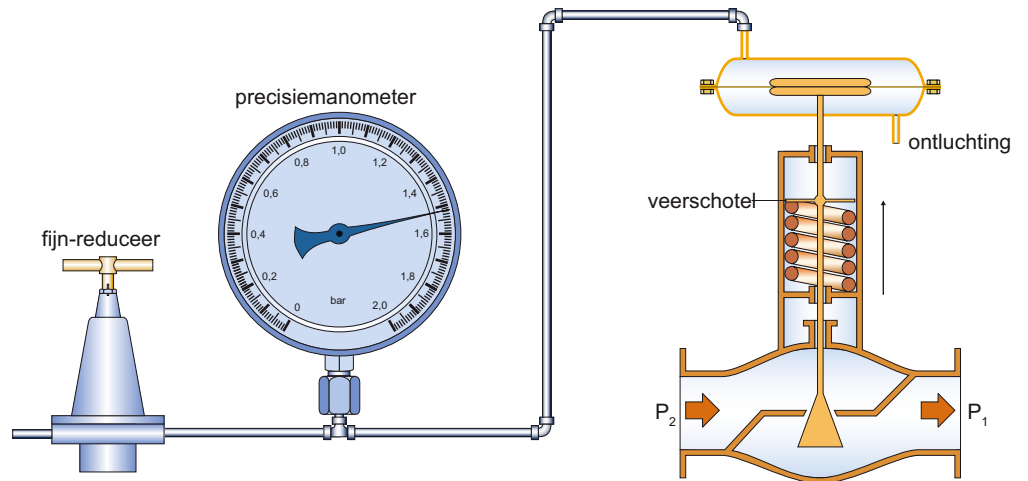
Waarop inspecteert u een regelklep met klepstandsteller? Vul hiertoe onderstaande tabel in.

Inspectiepunten	Norm	Actie bij afwijking

Figuur 510 Inspectie regelklep

Afstellen en testen van regelklep

Afstellen en testen van een regelklep wordt uitgevoerd in een testopstelling of in bedrijf. Zie **figuur 511**.



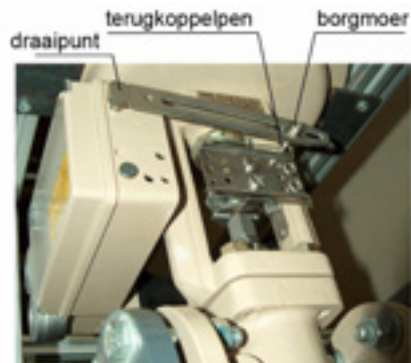
Figuur 511 Testopstelling voor regelklep

Voor het afstellen van de regelklep van 0,2 tot 1 bar worden de volgende stappen doorlopen:

1. aansluiting volgens **figuur 511**.
2. verhoog met het reduceerventiel langzaam de druk naar 0,2 bar
3. bekijk en voel of de klep bij deze druk in beweging komt
4. bij afwijking, met de stelmoer op de veerschotel (nulpuntsmoer, zie **figuur 488**) de veerspanning aanpassen
5. herhaal de punten 2 t/m 4 totdat de klep op de juiste druk begint te openen
6. verhoog de druk naar 1 bar en controleer of de klep volledig open loopt (de veerconstante bepaalt de afgelegde weg)
7. stel zonodig (indien aanwezig) de slagbegrenzing in
8. laat de klep weer dichtlopen en sluit een druk aan op P1 die overeenkomt met de procesdruk (uit veiligheidsoverweging moet dit een vloeistofdruk zijn in een testbankopstelling)
9. controleer of de klep gesloten blijft (Let op: de controlklep is meestal geen afsluiter!)
10. indien de klep door de kracht in beweging komt, de veerspanning iets verhogen (herhalen punten 2 t/m 4)

Afstellen elektro-pneumatische klepstandsteller (zero, span)

Net zoals transmitters kent de regelklep een span- en een zero-instelling waarmee de maximale- en minimale lichthoogte worden ingesteld. Bij regelkleppen met een klepstandsteller zoals de elektro-pneumatische regelklep in **figuur 512**, wordt dit gedaan met behulp van de klepstandsteller. De EP-omvormer is vergelijkbaar met een regelaar. Zie **figuur 513**.



Figuur 512 Spaninstelling

Zero

De zero-instelling van **figuur 513** van 4 mA is in feite eenvoudig. De zero-instelling staat op 4 mA als de klep precies bij 4 mA begint te openen (of te sluiten bij een NO-klep). Een zero-instelling op 12 mA betekent net zo lang aan de zero-instelling blijven draaien tot de klep pas bij 12 mA begint te openen.



Figuur 513 Instelling zero en versterking

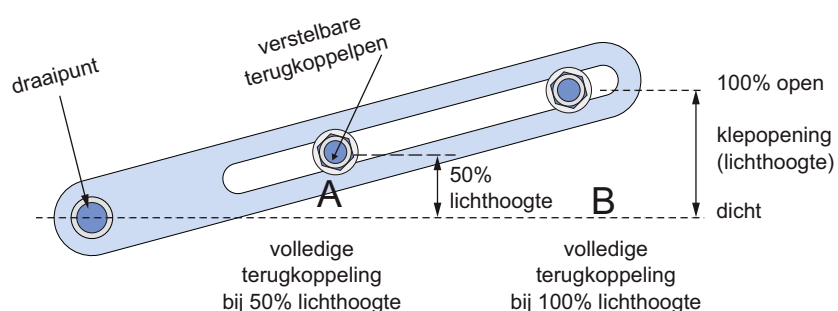
Span

De terugkoppelpen van **figuur 512** kan met een borgmoer op een bepaalde afstand van het draaipunt worden vastgezet. Is de afstand tussen draaipunt en borgmoer klein, dan is de span ook klein. Wordt de afstand tussen draaipunt en borgmoer of terugkoppelpen groter, dan wordt de span ook groter.

Om bijvoorbeeld een kleplichthoogte van 40 mm in te stellen bij een stuursignaal van 20mA, dan verschuiven we de terugkoppelpen net zolang tot de lichthoogte van 40 mm bereikt is. Is de span ingesteld, dan is het goed de zero- instelling nogmaals te controleren.

Door de terugkoppelpen op positie A te borgen (zie **figuur 514**) kan, bij een stuursignaal van 20mA, een maximale lichthoogte van 50% (20mm) ingesteld worden.

Door de terugkoppelpen nog verder dan positie B van het draaipunt te borgen, kan bij een stuursignaal < 20mA de maximale lichthoogte al worden bereikt.

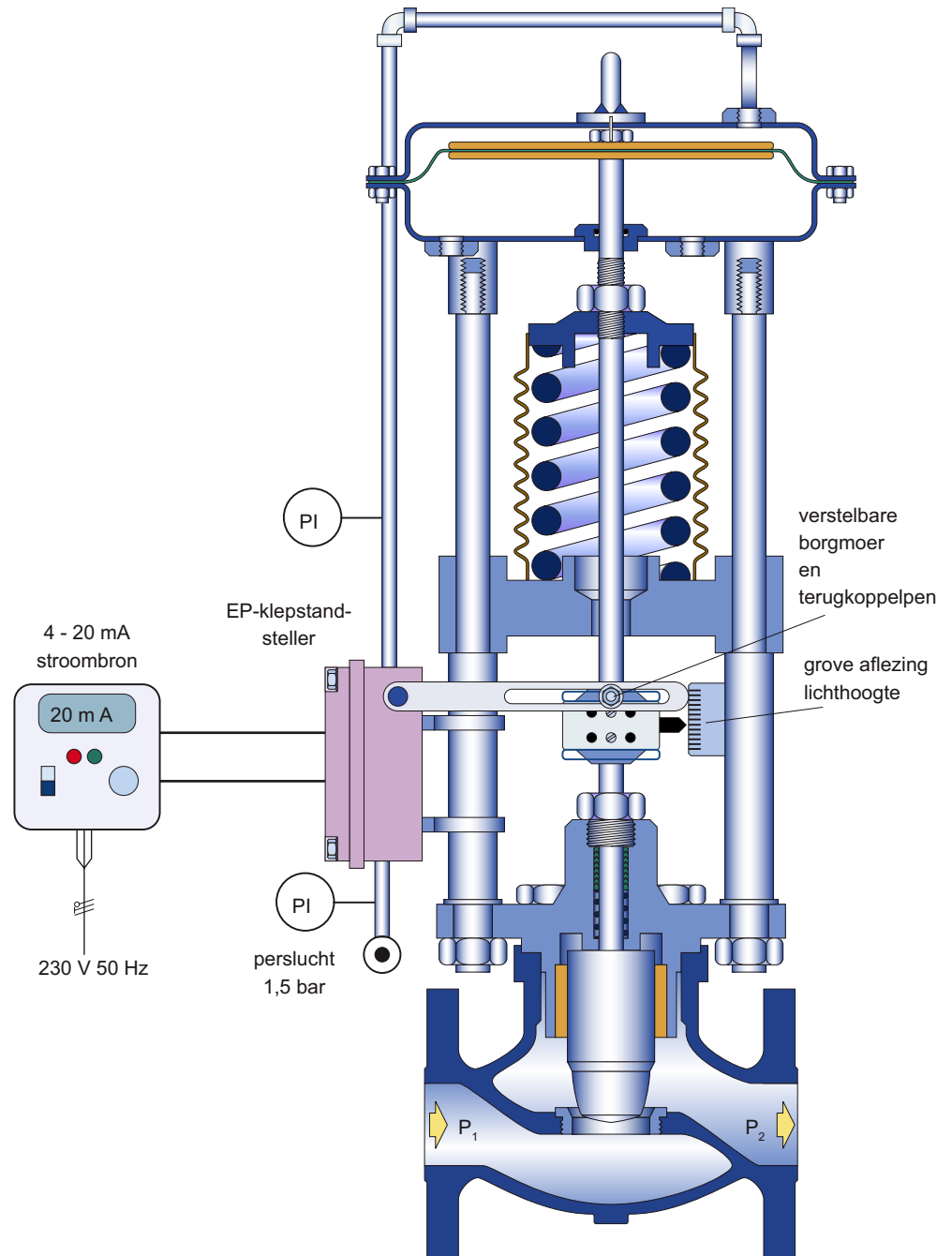


Figuur 514 Terugkoppelpen

Voor het afstellen van de EP-klepstandsteller op de regelafsluiter wordt de opstelling toegepast volgens **figuur 515**. Met de stroombron wordt het signaal van 4 of 20mA gegeven. Het nulpunt (zero) wordt afgesteld in de EP-omvormer. De gewenste maximale lichthoogte (doorlaatcapaciteit) wordt afgesteld met de terugkoppelpen.

De EP-omvormer bezit vaak ook nog een instelmogelijkheid voor de capaciteit van de perslucht flow naar het membraan. Bij een klep met een groter membraan is meer lucht

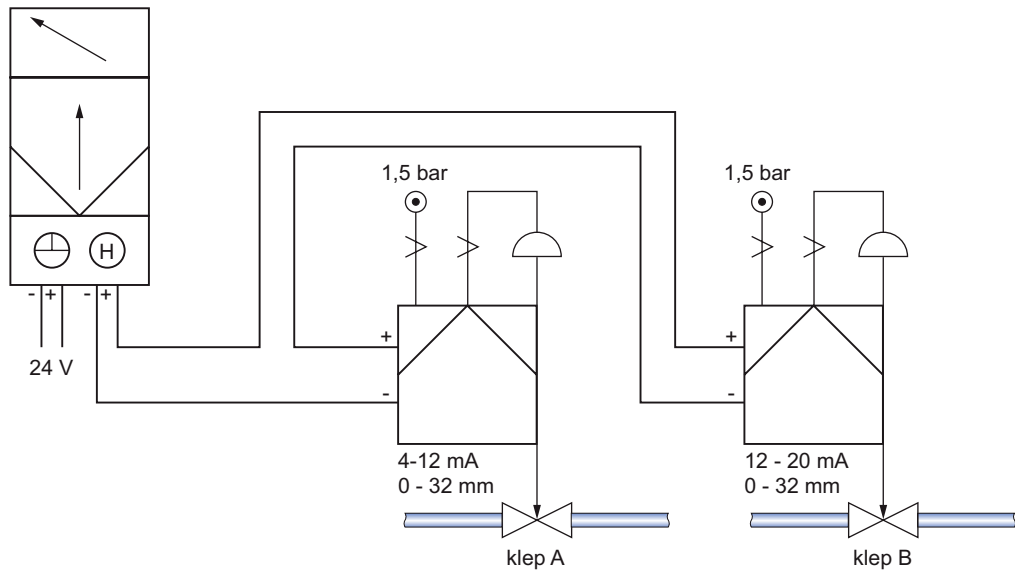
nodig dan bij een kleine klep. Daarnaast is er nog een instelmogelijkheid die, afhankelijk van de persluchtdruk (voeding), een bepaalde vorm van versterking geeft. Bij een lage voedingsdruk zal deze meer invloed hebben dan bij een hogere voedingsdruk. Door de regelklep direct met de klepstandsteller af te stellen, worden alle oorzaken die een rol spelen bij hysteresis (wrijving, drukverschillen) direct meegenomen.



Figuur 515 Afstellen EP-klepstandsteller

Splitrange

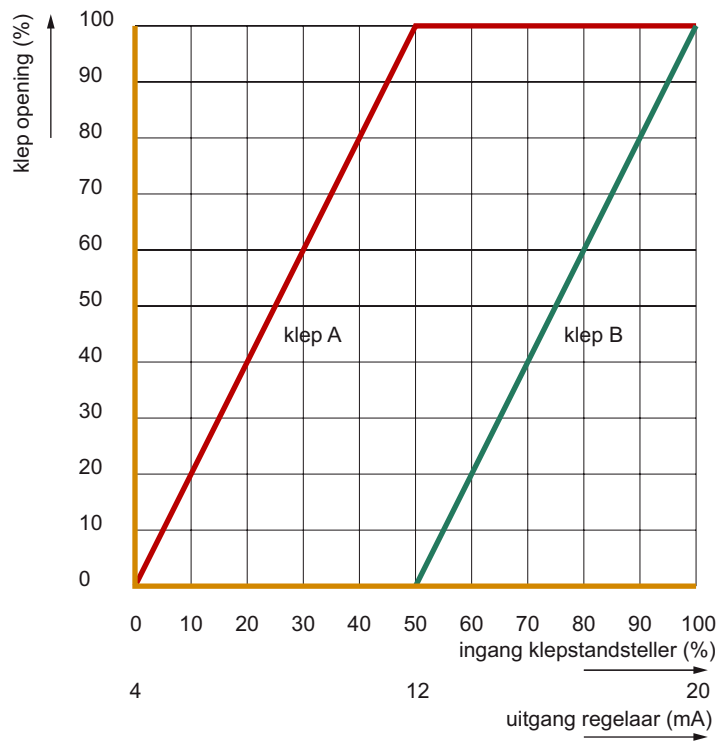
Door de span en zero op een bepaalde wijze af te stellen, kan men twee kleppen met één regelaar aansturen. Beide kleppen reageren dan verschillend op hetzelfde regelaarsignaal. In **figuur 516** opent klep A op de eerste helft van het regelaarsignaal en klep B op de tweede helft.



Figuur 516 Splitrange opstelling

Opgaven

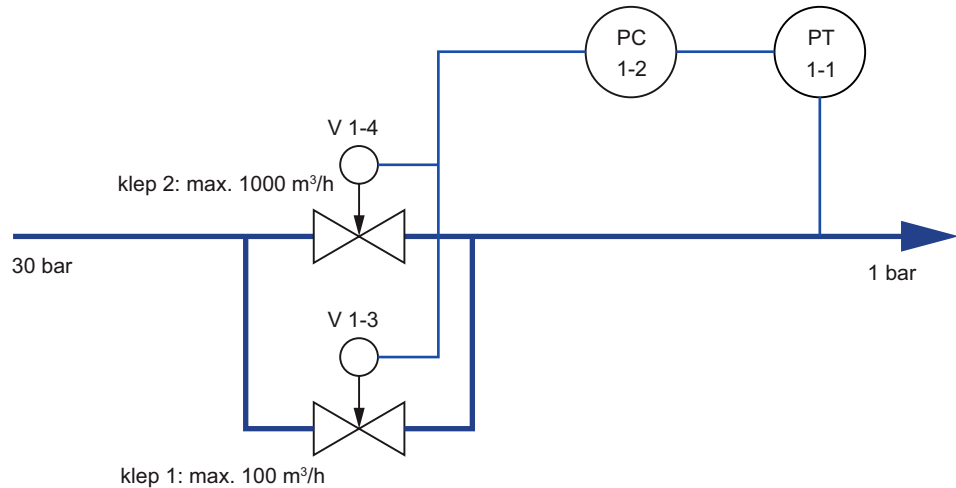
441. Op welke waarde van het stuursignaal zijn de zero-instellingen van klep A en klep B in **figuur 516** afgesteld?
442. Waarom moet de span van klep A op 64 mm lichthoogte worden afgesteld?
443. De grafiek van **figuur 517** hoort bij de splitrange opstelling van **figuur 516**. Hoe zijn de span en zero's in **figuur 517** af te lezen?



Figuur 517 Splitrange in grafiek

Splitrange gasverbruikregeling

Het gasverbruik in een fabriek is tijdens het weekend maximaal 100 m³/h. Tijdens bedrijf kan dit verbruik oplopen tot maximaal 1100 m³/h. **Figuur 518** geeft een P & I-schema van deze regeling. In de grafiek van **figuur 519** is aangegeven hoe deze splitrange regeling moet worden ingesteld.

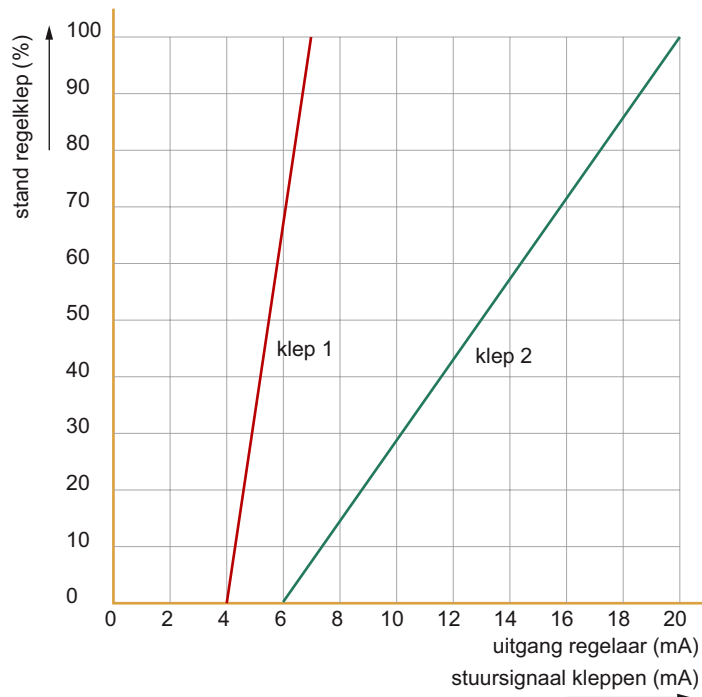


Figuur 518 P&I-schema gasregeling

Opgaven

444. In de grafiek overlappen klep 1 en 2 elkaar wat betreft mA en klepstand. Verklaar waarom dit wenselijk is.

445. De span-instellingen voor de kleppen 1 en 2 verschillen met betrekking tot de grootte van de klep en het regelgebied. Verklaar waarom.



Figuur 519 Grafiek gasregeling

Klimaatregeling met splitrange

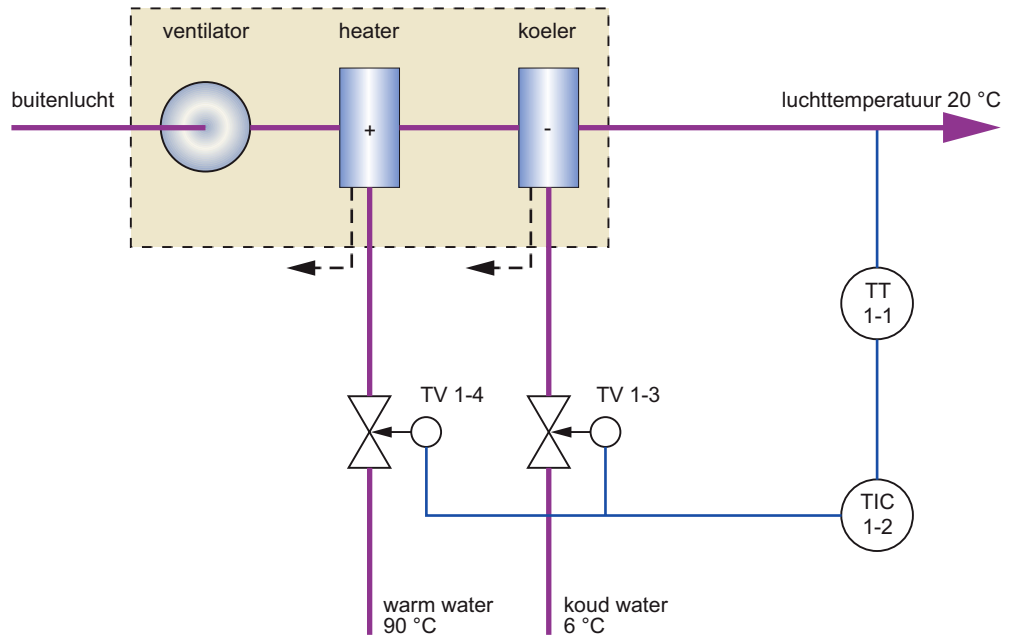
Wordt de luchttemperatuur warmer dan 20 °C dan zal, afhankelijk van de buitenluchttemperatuur, de heater minder doen of de koeler meer.

Opgaven:

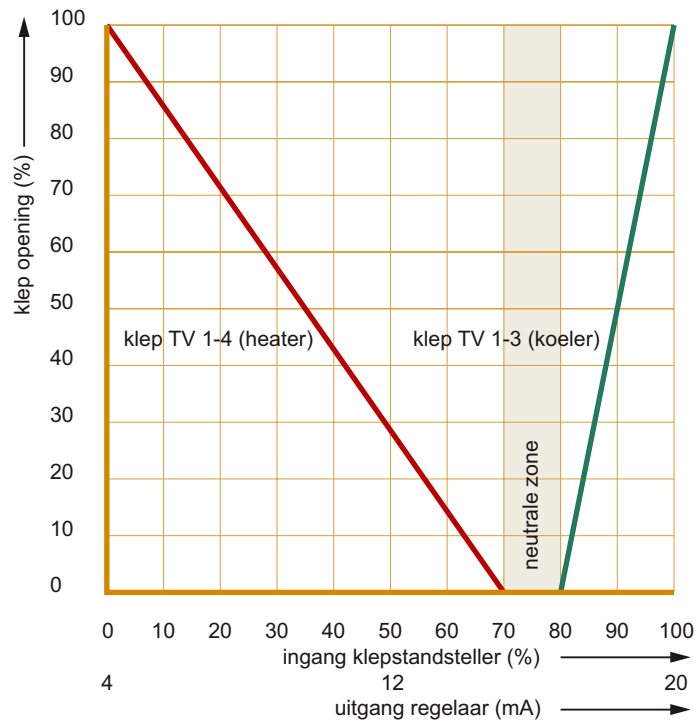
446. Zijn de kleppen TV1-4 en TV1-3 in **figuur 520** van het type NO of NC?

447. Hoe wordt in dit geval de zero van TV1-4 afgesteld?

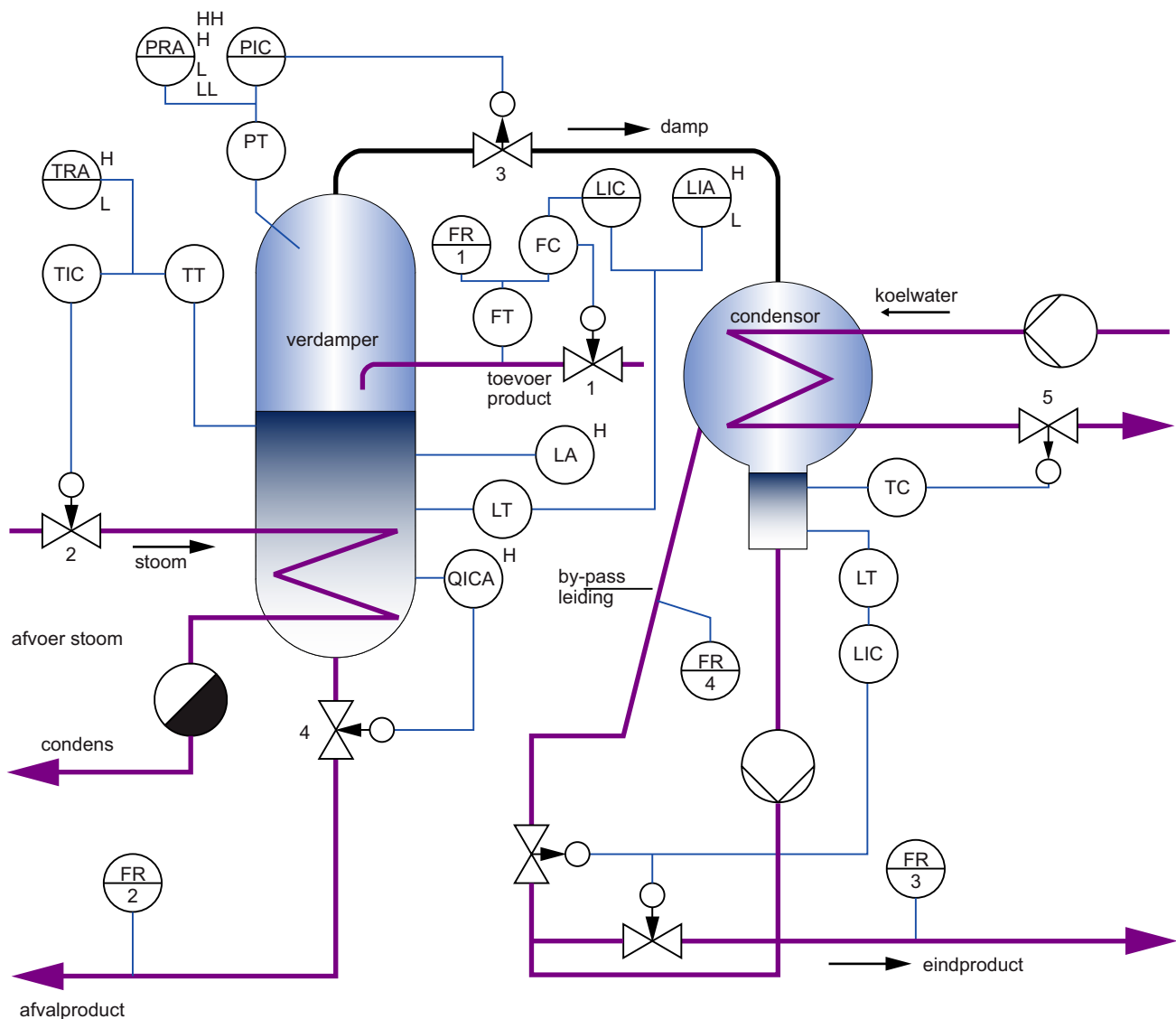
448. Wat is het nut van de neutrale zone in **figuur 521**?



Figuur 520 Klimaatregeling



Figuur 521 Grafiek klimaatregeling



Figuur 522 P&I-schema proces

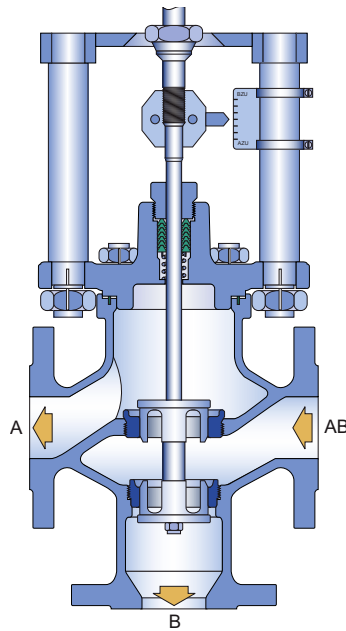
opgaven

449. Zoek in **figuur 522** de splitrangeregelning en verklaar de werking.
450. Hoe zullen de kleppen zijn afgesteld overlappend of juist met een neutrale zone?
451. De druk van het toegevoerde product is constant. De drukregeling in de verdampfer houdt de druk van de damp constant. Wat betekent dit voor het drukverschil over regelklep 1: varieert deze veel of is die nagenoeg constant?
452. Stel dat het drukverschil over de regelklep (1) constant is, welke klepkarakteristiek kiest u dan?

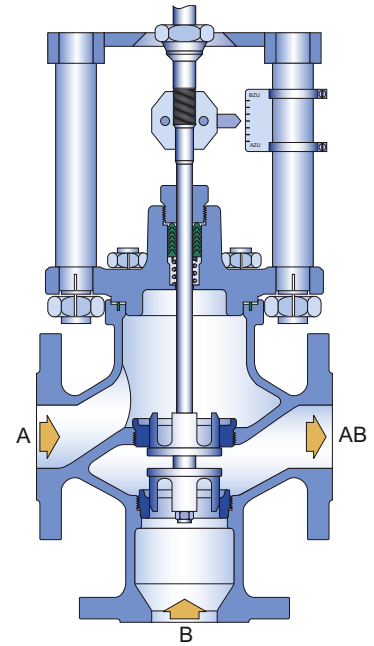
453. De pomp voor het koelwater is een continu draaiende centrifugaalpomp. Het ligt dus voor de hand dat regelklep 5 geen aan-uit type is. Maar wat voor type is het dan wel en waarom?
454. Wat regelt regelaar QICA? Wat voor klepkarakteristiek kiest u als QICA een aan/uit regelkring is?
455. De regeleigenschappen van de drukregeling in **figuur 522** moeten aan hoge eisen voldoen. Wat kan een klepstandsteller hieraan bijdragen?

Diverse kleppen **Drieweg regelkleppen**

Om twee stromen met elkaar te mengen of om één stroom te splitsen in twee afzonderlijke stromen, gebruikt men driewegkleppen. Een driewegklep met twee ingangen en één uitgang is een mengklep. Bij twee uitgangen en één ingang is het een verdeelklep. In **figuur 523** en **figuur 524** ziet u een voorbeeld van een klep met een meng- en verdeelfunctie.



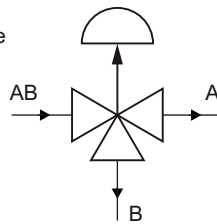
Figuur 523 Driewegklep met verdeelfunctie



Figuur 524 Driewegklep met mengfunctie

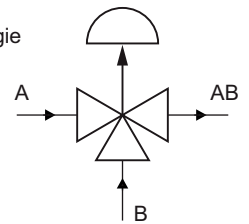
Indien de hulpenergie naar de klepmotor wegvalt dan gaat:

AB → A open
B dicht



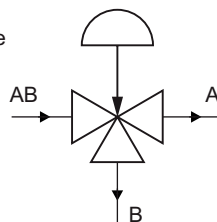
Indien de hulpenergie naar de klepmotor wegvalt dan gaat:

A → AB open
B dicht



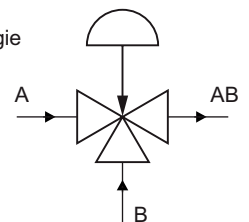
Indien de hulpenergie naar de klepmotor wegvalt dan gaat:

AB → A dicht
AB → B open



Indien de hulpenergie naar de klepmotor wegvalt dan gaat:

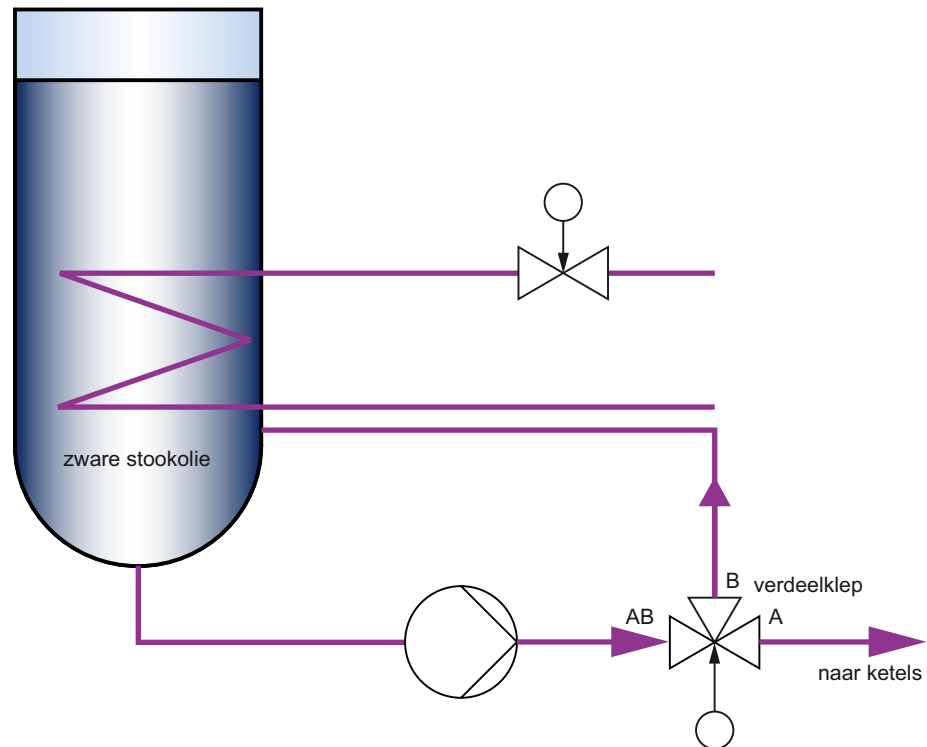
A → AB dicht
B → AB open



Figuur 525 Symbolen voor driewegkleppen

Driewegkleppen ziet men bij installaties waarvan de vloeistofstroom niet mag stoppen. De regelafsluiter zou dan de hoofdstroom afsluiten. Dat een vloeistofstroom niet mag stoppen kan meerdere redenen hebben: bijvoorbeeld het product stolt of kristalliseert zodra het stilstaat, de vloeistofstroom over een

primair element (heetwaterketel) moet uit veiligheidsoogpunt blijven lopen, de pomp mag niet tegen een gesloten afsluiter persen. In **figuur 526** en **figuur 527** zijn deze voorbeelden uitgewerkt.

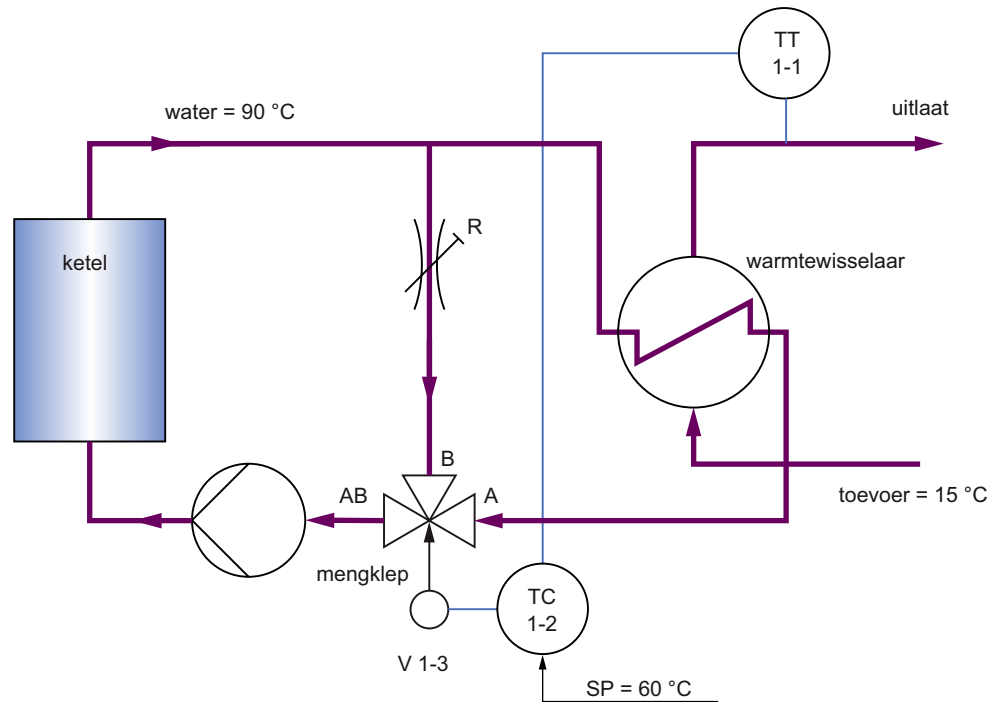


Figuur 526 Verdeelklep stookolie

Bij een daling van de afname door de ketels, gaat het restant via B terug in de tank. De flow door de pomp blijft daardoor steeds 100%.

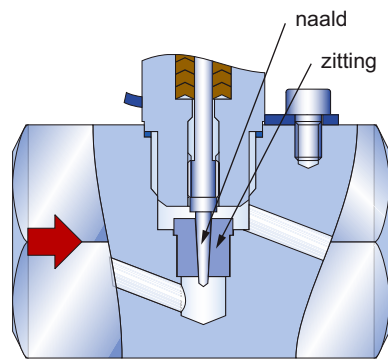
De restrictie (smoring) R in **figuur 527** dient om de weerstand over de kortsluitleiding op dezelfde waarde in te kunnen stellen als over de warmtewisselaar.

Vanwege de veiligheid moet de flow over de ketel altijd boven een bepaalde waarde blijven. Dus als poort A van klep V1-3 voor een deel dichtgaat, gaat poort B met dezelfde afstand verder open. Het gevolg is dat de stroom door AB en dus ook door de ketel 100% blijft.



Figuur 527 Mengklep warmtewisselaar

Naaldregelkleppen



Figuur 528 Naaldregelklep

Deze kleppen worden gebruikt voor kleine hoeveelheden. De gebruikte plug is zeer klein en heeft de vorm van een naald. Het materiaal van deze afsluiters kan van gietijzer, brons en roestvrijstaal in allerlei samenstellingen zijn. Naaldkleppen hebben een equiprocentuele of lineaire karakteristiek, met een groot regelbereik.



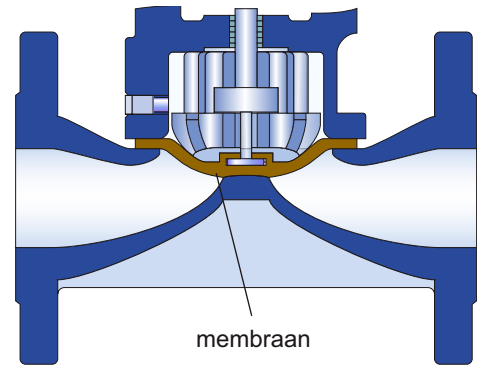
Figuur 529 Naaldregelklep (bron: Samson)

Membraanregelkleppen

Figuur 530 t/m **figuur 532** tonen membraanafsluiters. Membraanafsluiters zijn bijzonder geschikt voor het regelen van bijzondere stromen zoals: papierpulp, chemische slurries, verfstoffen, zuren. Een membraanafsluiter heeft als groot voordeel dat er een absolute afsluiting mogelijk is. Verder is de constructie eenvoudig en corrosiebestendig. De membraanafsluiters worden vaak als open/dicht afsluiter toegepast. Toch is met de juiste aandrijving en hulpapparatuur de membraanafsluiter geschikt om als regelbare afsluiter te gebruiken. Boven de 70% opening verandert de karakteristiek. De klepstandsteller zal dan ook vaak afgesteld worden, zodanig dat bij 100% ingangssignaal de membraanafsluiter 70% doorlaatopening heeft.



Figuur 530 Membraanklep (bron: Samson)



Figuur 531 Doorsnede membraanklep

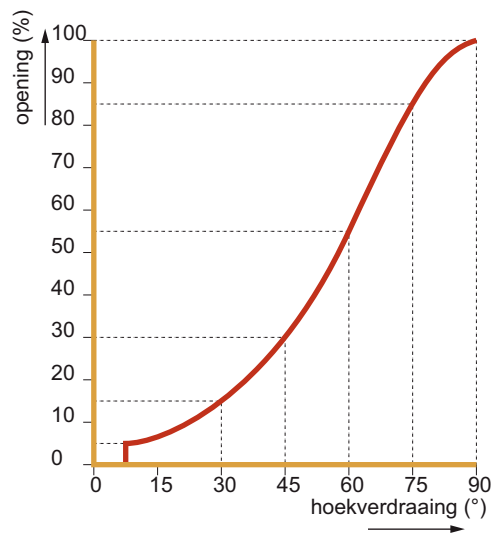


Figuur 532 Handbediende membraanafsluiter (bron: Saunders)

Vlinderkleppen

Vlinderkleppen dienen steeds vaker als regelafsluiter. De voordelen van vlinderkleppen ten opzichte van plugafsluiters zijn:

- relatief goedkoop (door eenvoudige constructie)
- korte inbouw lengte
- eenvoudige montage ("wafer type" kan gecentreerd worden tussen de flensbouten)
- grote Kv-waarde in verhouding met aansluitmaat bij grote volumestromen
- gering drukverlies, maar wel een blijvende obstructie
- nagenoeg volledige afdichting in gesloten toestand



Figuur 533 Regelkarakteristiek van een vlinderklep



Figuur 534 Vlinderklep

Corrigerend element

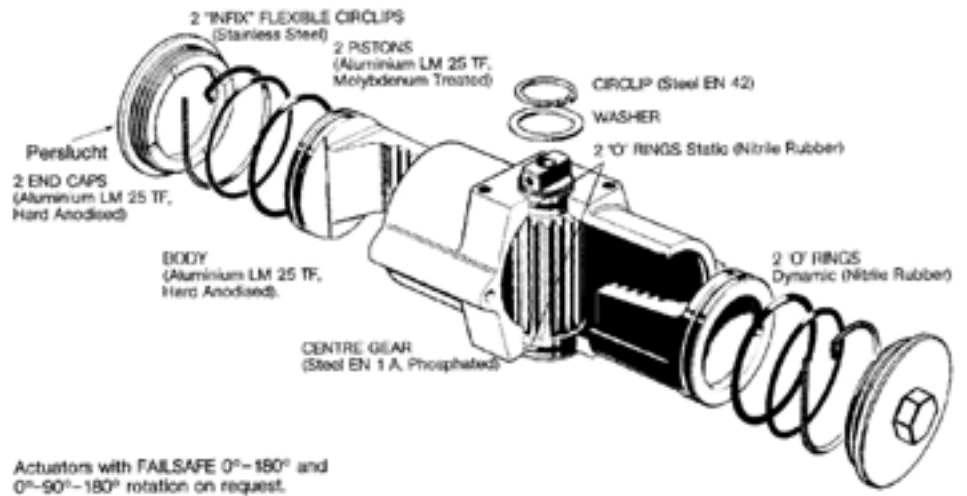
Vlinderkleppen zijn leverbaar tot statische drukken van 200 bar en 400 °C. De afdichting is dan staal op staal. Voor lagere drukken en temperaturen gebruikt men soms teflon- of neopreenklepafdichting. Deze dient tevens als flenspakking. De regelkarakteristiek van de vlinderklep benadert de equiprocentuele karakteristiek over een hoekverdraaiing van 0 tot 75 graden. Zie **figuur 533**. Dat is de reden, dat vlinderkleppen als regelklep in veel gevallen toegepast worden met een hoekverdraaiing van 0 tot 75 graden en bij 75 graden van een aanslag worden voorzien. De regelkarakteristiek is afhankelijk van de vorm van de "klepplaat". Deze kan aan de randen voorzien zijn van diverse modificaties.



Figuur 535 Vlinderklep met servomotor

Bedienend element

In **figuur 534** ziet u een voorbeeld van een vlinderklep met een membraanservomotor. Omdat de vlinderklep een draaiende beweging maakt van dicht naar open en omgekeerd, hebben servomotoren een draaiende, uitgaande as. Zie **figuur 534** en **figuur 535**.

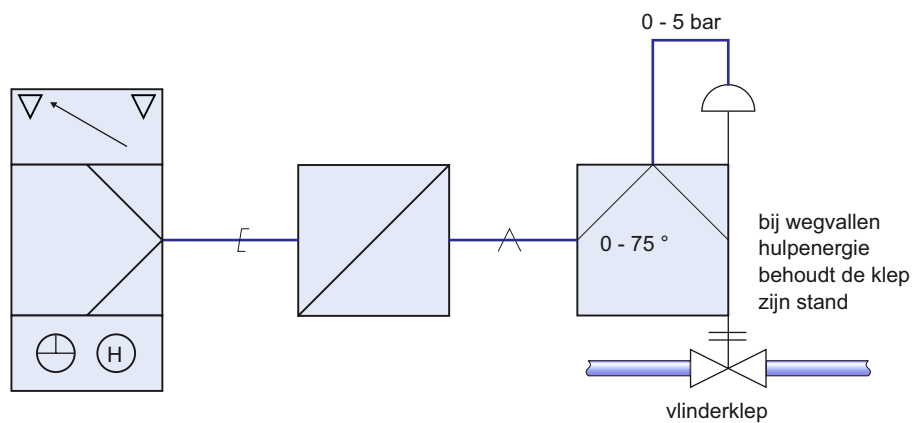


Figuur 536 Klepmotor

Servomotoren met een roterende, uitgaande as hebben vaak een voedingsdruk nodig van 10 bar. Naast pneumatische motoren kan vooral bij vlinderkleppen ook een elektromotor met vertragskast goed dienst doen.

Opgave

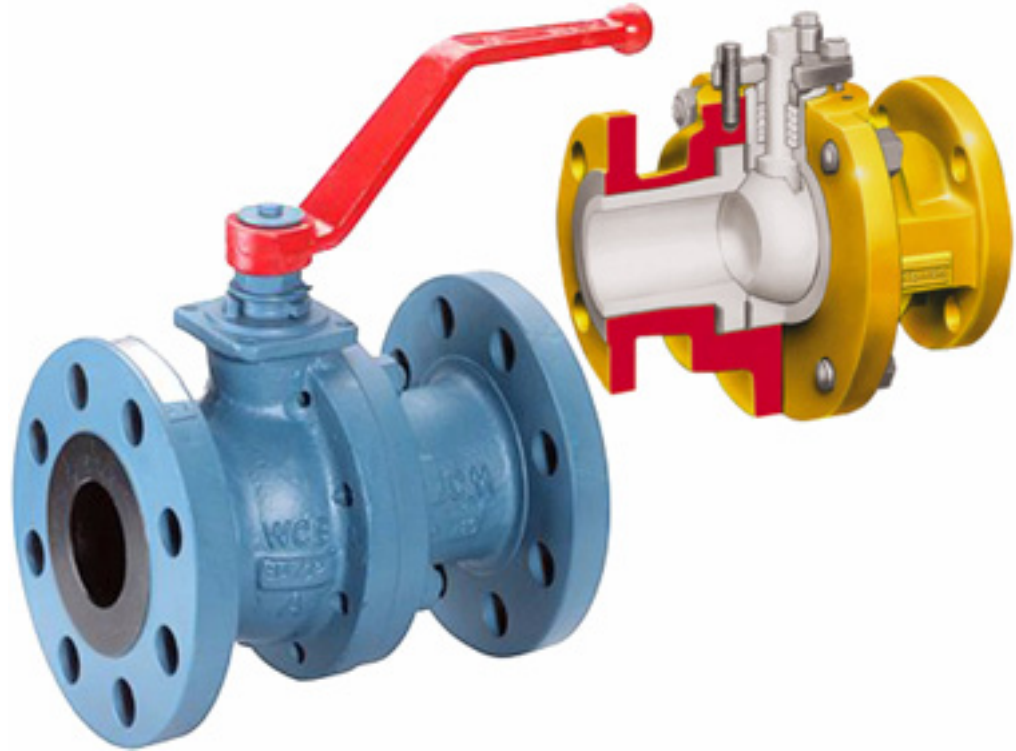
456. Maak het installatieschema van **figuur 537** compleet.



Figuur 537 Uitwerking

Kogelkranen

Kogelkranen ziet men ook steeds vaker als regelafsluiter. Zie **figuur 538**.

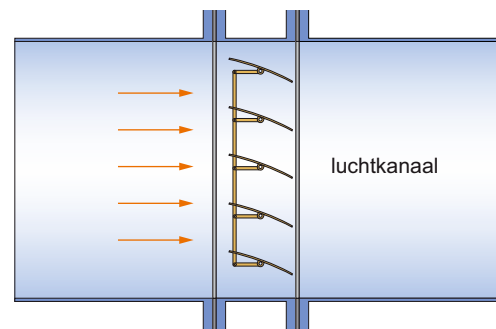


Figuur 538 Kogelafsluiter

De inbouw lengte is groter dan bij vlinderkleppen, maar de andere voordelen zijn vergelijkbaar. De regelkarakteristiek is ongeveer gelijk aan die van de vlinderklep. Aangezien kogelkranen een draaiende beweging voor de bediening vereisen, ligt het voor de hand om ook daarvoor servomotoren met een draaiende, uitgaande as te gebruiken.

Jalouziekleppen

Voor de regeling van luchthoeveelheden bij klimaatbehandelingsinstallaties (airconditioning) worden jalouziekleppen toegepast. Deze hebben lamellen, die in verticale stand het kanaal volledig afsluiten en in horizontale stand het kanaal praktisch helemaal openen. Via een hefboomstelsel bedient één servomotor gelijktijdig alle lamellen. Dit kan in principe elk type servomotor zijn. Aangezien de klepverstelling een draaiende beweging moet zijn, past men vaak servomotoren toe met een draaiende, uitgaande as. **figuur 539** is een schets van de constructie van een luchtklep.

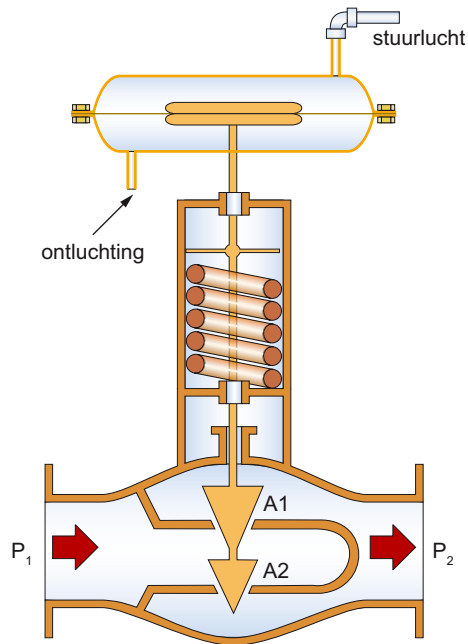


Figuur 539 Schets van luchtklep

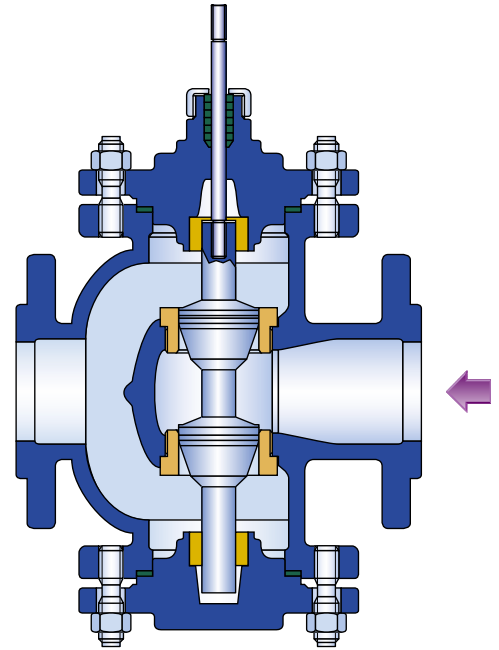
Dubbelzittingklep

De naam van deze klep geeft al aan dat het gaat om een klep met dubbele plug en zitting (zie **figuur 540**). Door deze constructie wordt de kracht die op de klep (plug) wordt uitgeoefend, door het drukverschil en het oppervlak weggewerkt. Deze klep wordt daarom toegepast in situaties met een groot drukverschil over de klep en een grote doorlaatcapaciteit (is oppervlak). Hier zou anders een grote motor of membraan nodig zijn om voldoende kracht te realiseren om deze klep te openen.

Om de klep te kunnen monteren en demonteren, moet A2 kleiner zijn dan A1. Door de constructie van twee pluggen op één klepstang, zal volledige afdichting van A1 en A2 nooit exact gelijktijdig plaatsvinden. De klep zal altijd iets doorlaten.



Figuur 540 Dubbelzittingklep



Figuur 541 Dubbelzettingklep

Elektromotor bediende regelklep

- Toepassing vlinder- en kogelkleppen met roterende klepsteel
- Toepassing op plug en schuifafsluiters met rechtlijnig bewegende klepsteel
- Separate handbediening mogelijk
- Toepassing met en zonder terugkoppeling van de klepstand
- Motorvermogen aangepast aan de regelklep



Figuur 542 Elektrisch aangedreven regelklep

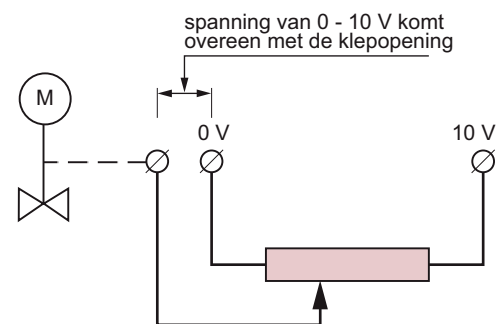
Werking

Het principe van de motorbediende regelklep is eenvoudig. **Figuur 543** en **545** geven een voorbeeld van de werking en hoe deze eruit ziet.

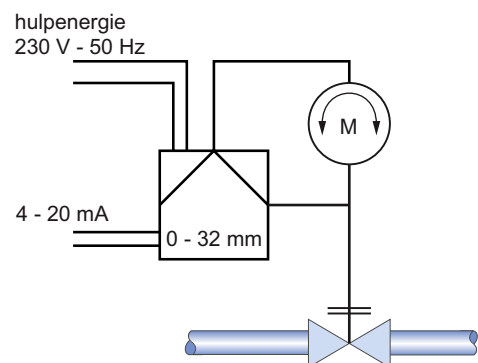


Figuur 543 Elektrische aandrijving

Draait de motor rechtsom dan sluit de klep en draait de motor linksom, dan opent de regelklep. Eindschakelaars zorgen ervoor dat de klep niet verder open of dicht gestuurd kunnen worden dan in de uiterste standen. De elektronica op deze klep is weer een regelaar op zichzelf. De potentiometer loopt met de klepsteel mee. De verplaatsing van de klepsteel is mechanisch gekoppeld aan de potentiometer. Het signaal 0 – 10 V wordt teruggekoppeld naar de motorbesturing. Zie **figuur 544**. Aan de ingang wordt de klep aangestuurd met het regelaarsignaal van 4 – 20 mA. Zolang hetingangssignaal niet overeenkomt met de bijbehorende klepstand blijft de klep reageren. Er is hier dus sprake van een klepstandsteller. In **figuur 545** is dit functioneel weergegeven. Bij wegvallen van de hulpenergie zal de klep blijven staan in de stand waarop hij op dat moment stond. Om bij storingen toch te kunnen ingrijpen is er vaak een extra handbediening aanwezig.



Figuur 544 Klepsteel aan potentiometer



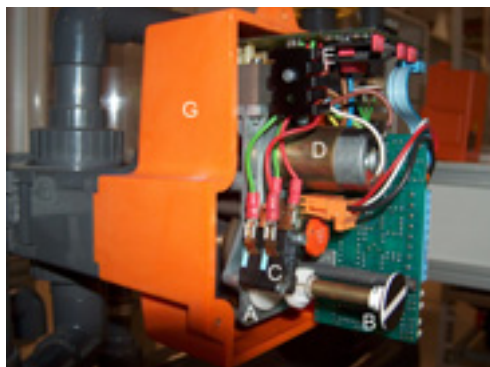
Figuur 545 Klepstandsteller

Aanstuurschema's

In **figuur 546** tot en met **figuur 549** geven enkele aanstuurschema's. Deze schema's vallen buiten het bestek van deze cursus.

Klep met elektromotoraandrijving

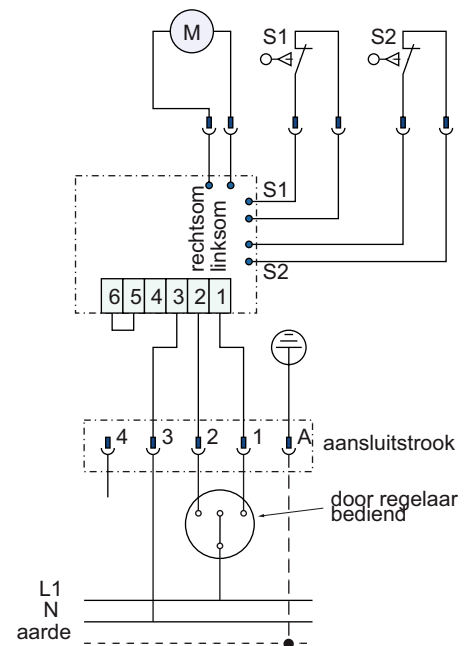
Een klep met een elektromotoraandrijving moet een twee- of driepuntsregelaar hebben voor aansturing van de motor. De klep zelf kan elk type klep zijn zoals: kogelkranen, vlinderkleppen of membraankleppen. De motor kan links of rechtsom draaien. Hiermee kan de klep geopend of gesloten worden. Het aansluitschema en de praktische uitvoering van een klepmotor staat in **figuur 546** en **figuur 547**.



Figuur 546 Elektromotoraandrijving

- Aandrijving
- Optische stand aanduiding
- Eindschakelaars S1 en S2
- Motor
- Elektrische regeling
- Klepstand opnemer
- Behuizing

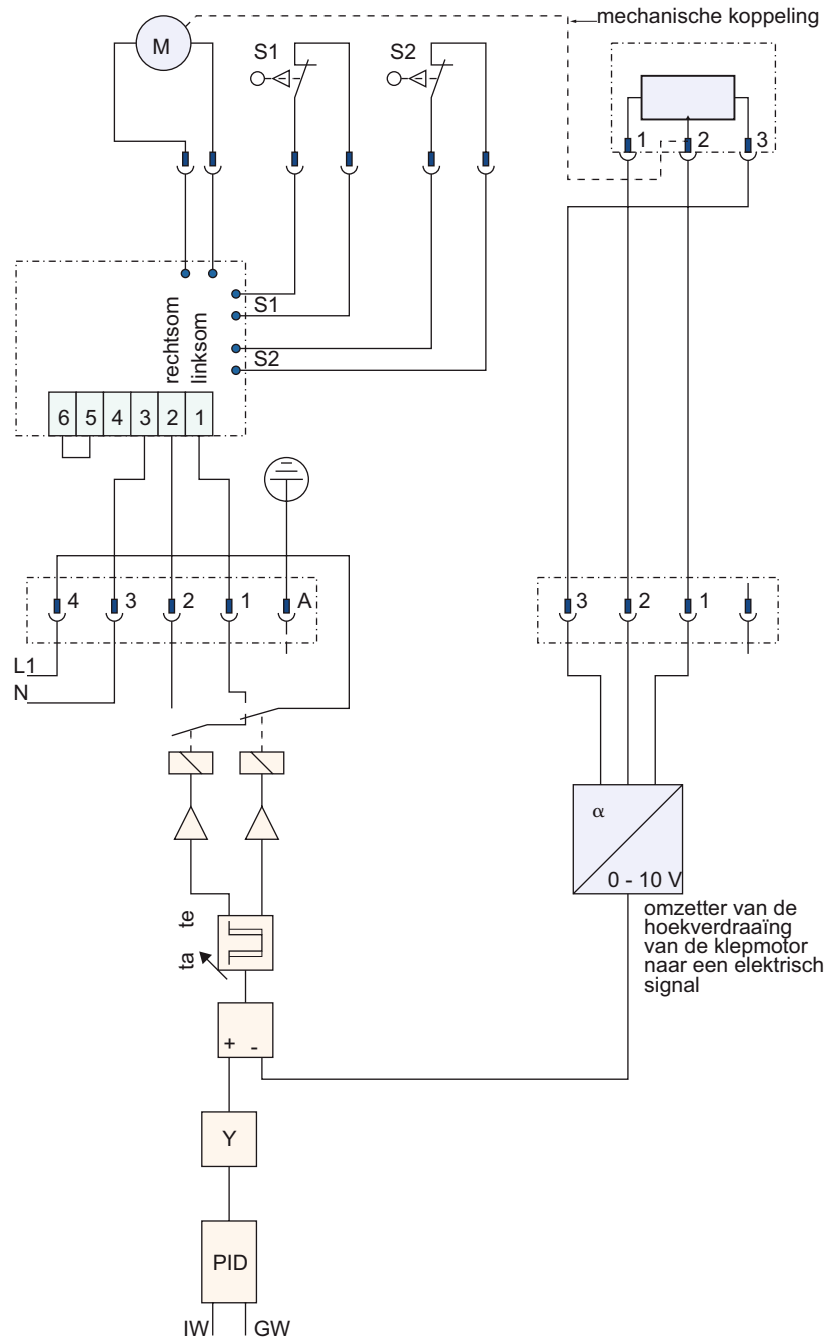
Een klep met een elektromotoraandrijving moet voorzien zijn van een twee- of driestandenregeling voor aansturing van de motor. Twee standen om links- en rechtsom te draaien (openen en sluiten) en liefst ook nog één neutraalstand waarbij de klepmotor niet wordt aangestuurd en dus stilstaat. In **figuur 546** en **figuur 547** ziet u een voorbeeld van een klep met twee standen- regeling. De klepas is voorzien van twee schakelaars (S1 en S2) voor eindstandsmelding (open/dicht) waardoor aansturing van de motor wordt onderbroken. Omdat de klepmotor maar met twee schakelstanden wordt aangestuurd, kan deze met een tweepuntsregelaar worden bediend. De regelaar geeft in dit geval maar twee uitgangssignalen.



Figuur 547 Aansluitschema klepmotor Georg Fischer (3 punts-regelaar)

In **figuur 549** ziet u dezelfde klepsturing als die in **figuur 548**. Hier is een externe terugkoppeling aangebracht die de werkelijke stand (hoekverdraaiing) van de klep vaststelt. Dit signaal wordt bij aansturing van de klep

gebruikt om deze op een exacte positie te brengen. Ook deze motorsturing wordt door een regelaar met een standaard signaal (4-20mA) aangestuurd.



Figuur 549 Driestanden klepsturing met een externe terugkoppeling

Pomp als corrigerend orgaan

Een vloeistofstroom die wordt geregeld door een regelklep vormt deze een variabele weerstand.

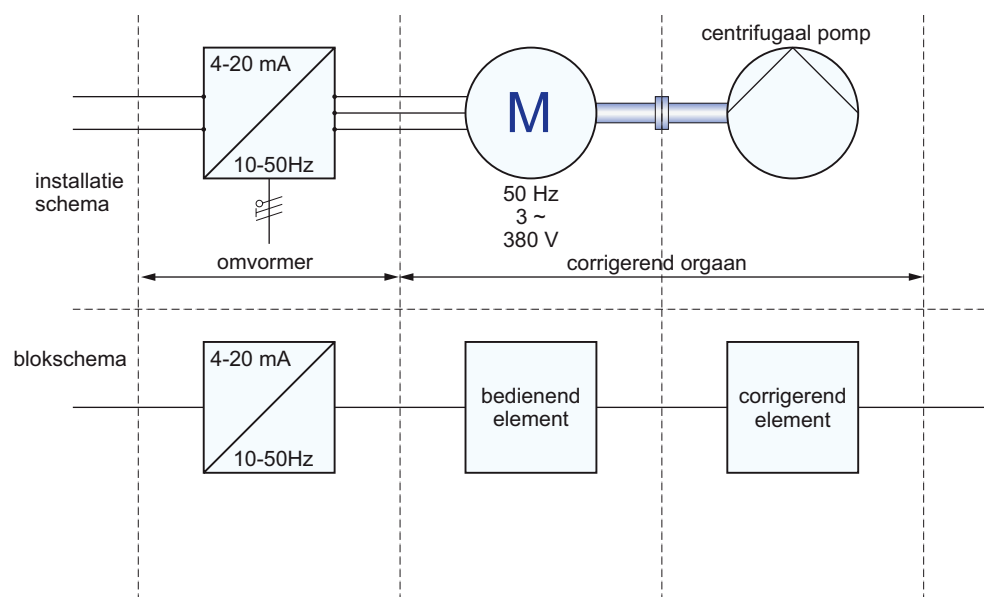
De druk (energie) vóór de regelklep wordt door een pomp opgebracht en vervolgens door de regelklep weer voor een groot deel teniet gedaan. Daarbij wordt energie vernietigd. Het regelen van flow kan ook rechtstreeks door een regelbare pomp gebeuren. Zie **figuur 550**.

Het corrigerend orgaan bestaat in dit geval uit de volgende componenten;

- Centrifugaalpom
- Elektromotor
- Frequentieregelaar / omvormer



Figuur 550 Centrifugaalpom



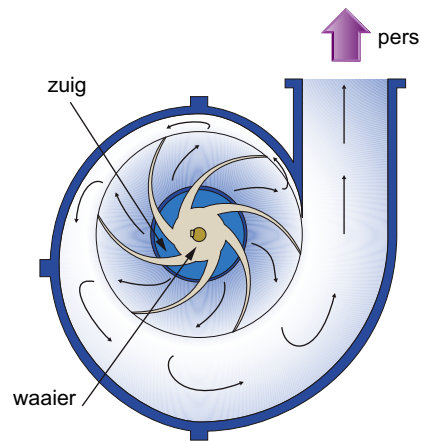
Figuur 551 Installatie- en blokschema

In **figuur 551** herkennen we de standaard onderdelen van een corrigerend orgaan.

Centrifugaalpomp (corrigerend element)

Een centrifugaalpomp is geschikt voor vloeistoffen met een lage viscositeit en zelfs voor gassen. De vorm van de pomp lijkt op een slakkenhuis met daarin een waaier die de vloeistof centraal aanzuigt en door de vorm van de draaiende schoepen naar buiten toe versnelt. Zie **figuur 552**.

Bij centrifugaalpomp heeft verandering van het toerental invloed op zowel de opbrengst als de druk (opvoerhoogte). Centrifugaalpomp worden daarom veel toegepast met frequentieregelaars. De grootte van de pomp wordt gekozen bij de gevraagde capaciteit van het proces.



Figuur 552 Centrifugaalpomp

Elektromotor (bedienend element)

Om de centrifugaalpomp aan te drijven wordt er een draaistroommotor aan gekoppeld. Zie **figuur 553**.



Figuur 553 Elektromotor

De motor dient voldoende vermogen te hebben om de pomp goed aan te kunnen drijven. Het gevraagde vermogen van de pomp was al bepaald door de procescondities.

Frequentieregelaar (omvormer)

De uitvoeringsvorm van de frequentieregelaar hangt af van het vermogen waarmee de elektromotor moet worden aangedreven. Een voorbeeld ziet u in **figuur 554**.



Figuur 554 Frequentieregelaar

De frequentieregelaar kent een groot aantal instellingen (parameters) en beveiligingen om een optimale afstemming te kunnen realiseren tussen regelaar en elektromotor.

Benaming frequentieregelaar of omvormer.

Omvormer:

functie die aangeeft dat een 4 – 20 mA ingangsignaal wordt omgevormd naar een 10 – 50 Hz uitgangsignaal.

Regelaar:

kent naast de zero- en spanningstelling een groot aantal instellingen voor optimaal bedrijf (deze vallen buiten het bestek van de cursus) en is daarmee te vergelijken met de regel-functie van de klepstandsteller.

Regelaar:

frequentieregelaars kunnen ook uitgerust worden met de standaard regelfuncties van analoge regelaars en zijn in dat geval dus volwaardige regelaars die met name in machi-nebesturingen voorkomen.

Werking van de combinatie

Een regelaar stuurt een standaard signaal van 4-20 mA naar de frequentieomvormer die er een stuursignaal van maakt van 10 – 50 Hz. Bij deze frequenties horen vaste toerentallen van de pomp waarmee zonder energiever-liezen (zoals bij de regelafsluiter) de flow kan worden geregeld.

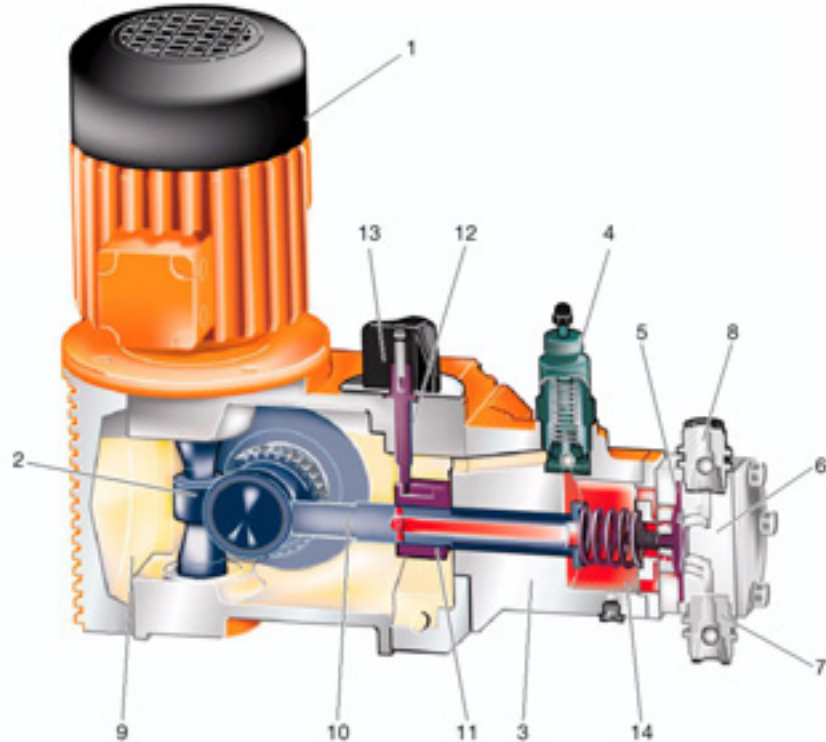
Opgaven

457. Het toerental van de elektromotor is bij 50 Hz 3000 omw/min. Wat is dan het toerental van de pomp bij een ingangs-signaal van 12 mA?

Doseerpomp

Doseerpompen kunnen een flow zeer nauwkeurig regelen. De werking van de doseerpomp berust op het verdringerprincipe. Vloeistof is niet samendrukbaar, waardoor drukveranderingen geen invloed hebben op

de flow. De toename van het toerental verloopt lineair aan de opbrengst. In de figuren 555 en 556 tonen respectievelijk een membraanpomp en een plunjerpomp.

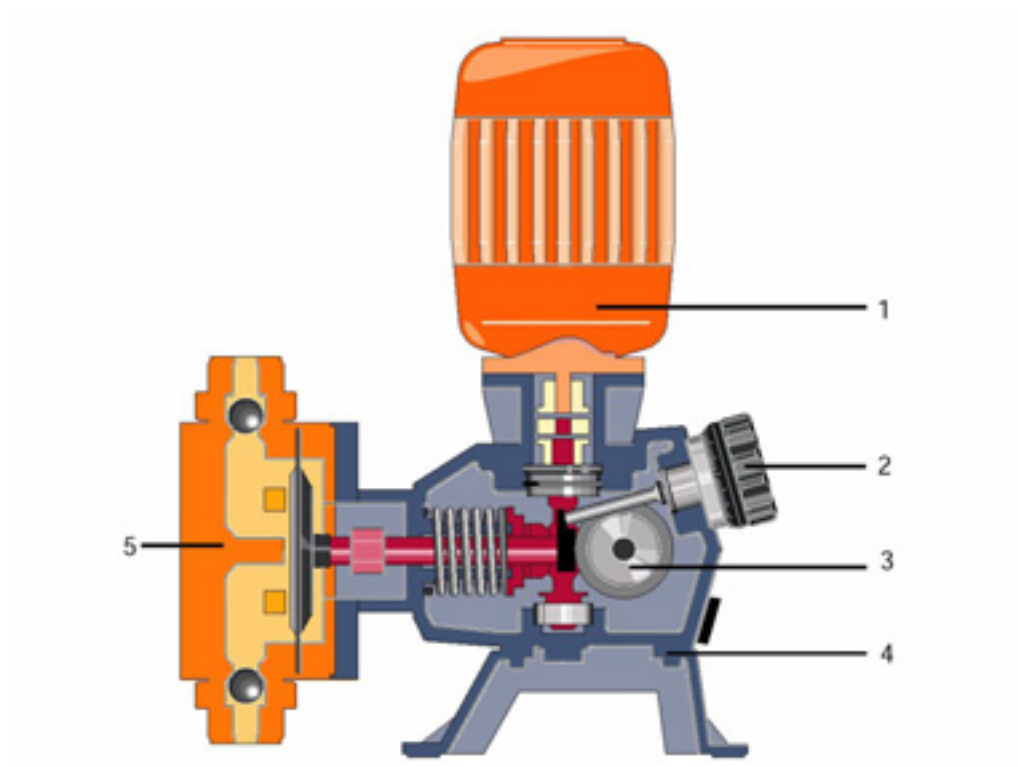


Figuur 555 Membraanpomp

Membraanpomp

1. elektromotor
2. aandrijving
3. hydraulisch gedeelte
4. overstortventiel
5. doseermembraan
6. doseerkop
7. zuigklep
8. persklep
9. olie
10. plunjer
11. verstelbus slagvolume
12. instel as
13. instelknop slagvolume
14. plunjer veer

Membraanpompen kunnen vervuilde vloeistoffen verpompen.



Figuur 556 Plunjerpomp

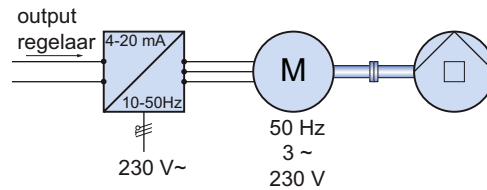
Plunjerpomp

1. Elektromotor
2. Instelschroef slagvolume
3. Aandrijving
4. Huis
5. Pomp

Plunjerpompen zijn alleen geschikt voor het verpompen van schone vloeistoffen.

Aansturing doseerpompen

Doseerpompen zijn instelbaar voor een gewenst slagvolume. De pompfrequentie (toerental, aantal pompslagen per tijdseenheid) kan worden aangestuurd door een 4-20mA signaal. Daarmee is de pompproductie variabel als functie van het stuursignaal.



Figuur 557 Doseerpomp met frequentieregelaar



Figuur 558 Doseerunit met diverse ingangsignalen als aansturing

In de doseerunit van **figuur 556** zijn de doseerpomp, motor en frequentieregelaar compact samengebouwd.

De unit kan op diverse manieren aangestuurd worden. Voor een elektronische regelaar heeft deze doseerpomp een ingang van 4 –20 mA. Verder is een aansluiting op een digitaal veldbussysteem mogelijk, bijvoorbeeld Profibus of Fieldbus Foundation.

Storingen en onderhoud doseerunits

Pomp

Storingen zoals lekkage, slijtage, verstopping worden in de regel door de onderhoudsdienst verholpen. Deze verzorgt ook het onderhoud.

Motor

Storing	Actie
Thermisch uitgeschakeld door overbelasting	Oorzaak overbelasting verhelpen Thermische beveiliging herstellen
Motor te warm door onvoldoende koellucht	Ventilator controleren en schoonmaken rooster en koelribben

Figuur 559 Storingen in de motor

Frequentieregelaar

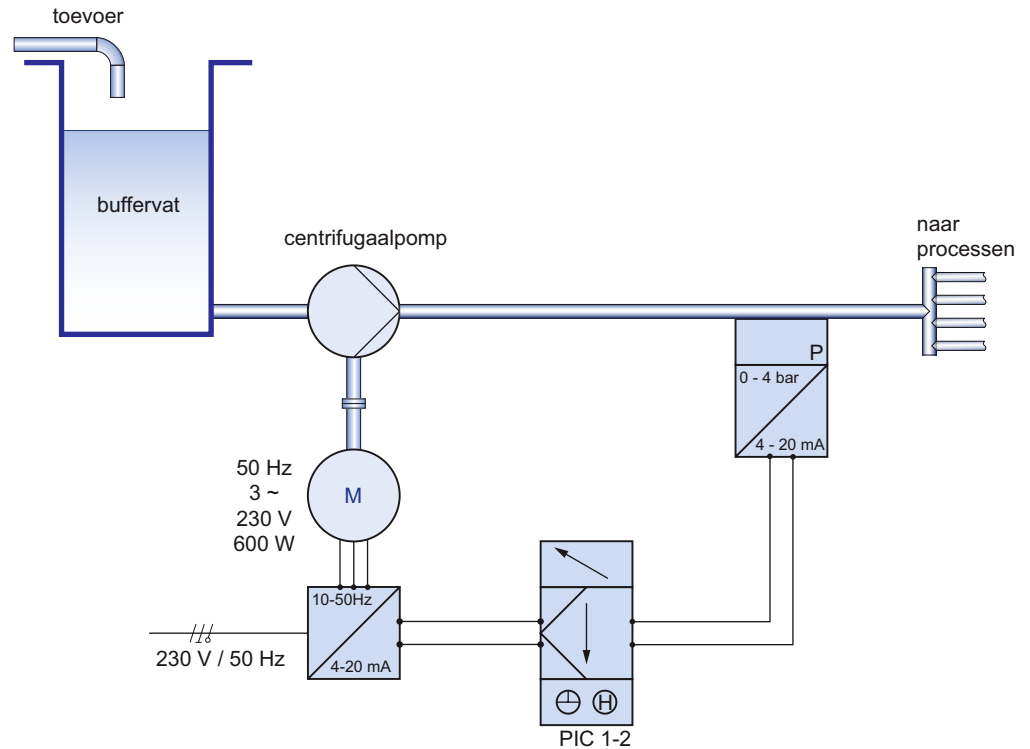
Storing	Actie
Verkeerde combinatie motor - regelaar	Goede combinatie zoeken
Onjuist ingestelde parameters	Inregelen volgens aanwijzingen leverancier

Figuur 560 Storingen in de frequentieregelaar

Afstelling frequentieregelaar

Voor het afstellen van de frequentieregelaar wordt een stuursignaal 4 – 20 mA gegeven. Daarna worden bijbehorende toerentallen van de motor gecontroleerd met een toerentalmeter. Die controle kan ook worden uitgevoerd aan de hand van de opbrengst van de pomp onder bedrijfsomstandigheden. Met zero en spaninstelling zonodig corrigeren.

De instelling van de parameters voor de optimale aansturing van de motor, dient volgens de richtlijnen van de leverancier uitgevoerd te worden.



Figuur 561 Schema drukregelkring

Opgaven

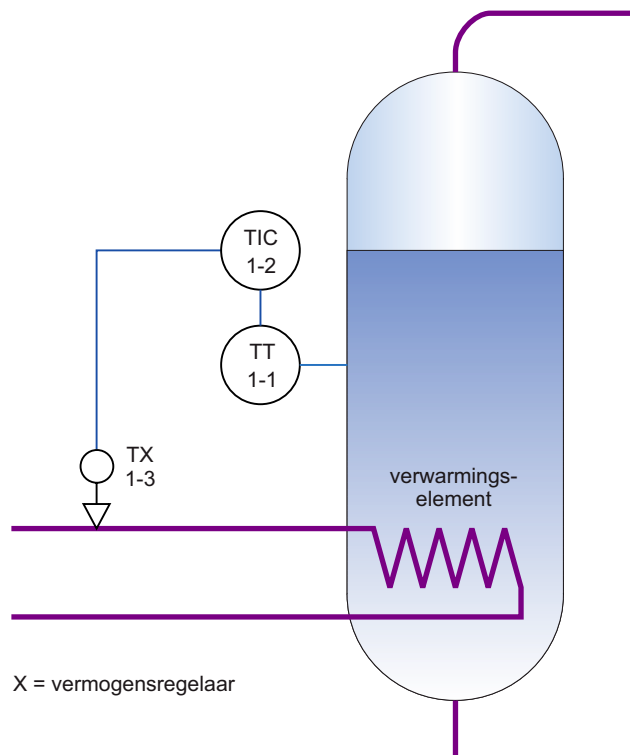
In **figuur 561** wordt de druk ten behoeve van de processen geregeld met de drukregelaar PIC 1-2.

458. Bepaal aan de hand van **figuur 561** de span en de zero van de frequentieregelaar.
459. Wat is het grote voordeel van een frequentieregelaar boven een pomp met vaste opbrengst en regelklep?
460. Op welk component worden de regelaars P en I ingesteld?
461. Wat is het gevolg voor het proces als de werkingsrichting van de regelaar verkeerd wordt ingesteld?
462. Wat gebeurt er met de koeling van een elektromotor als het toerental daalt?

Elektrische verwarmer als corrigerend orgaan

Deze vermogensregelaar werkt op tijd-proportionele basis. Dat wil zeggen: de vermogensregelaar laat de spanning en daarmee het vermogen toe tot het verwarmingselement, afhankelijk van het stuursignaal ofwel het uitgangssignaal van de regelaar (4 - 20 mA). De spanning staat hierbij niet continu op het

verwarmingselement, maar pulserend. De momenten waarop er spanning naar het verwarmingselement gaat, zijn afhankelijk van het stuursignaal van de regelaar. Zie **figuur 562** en.



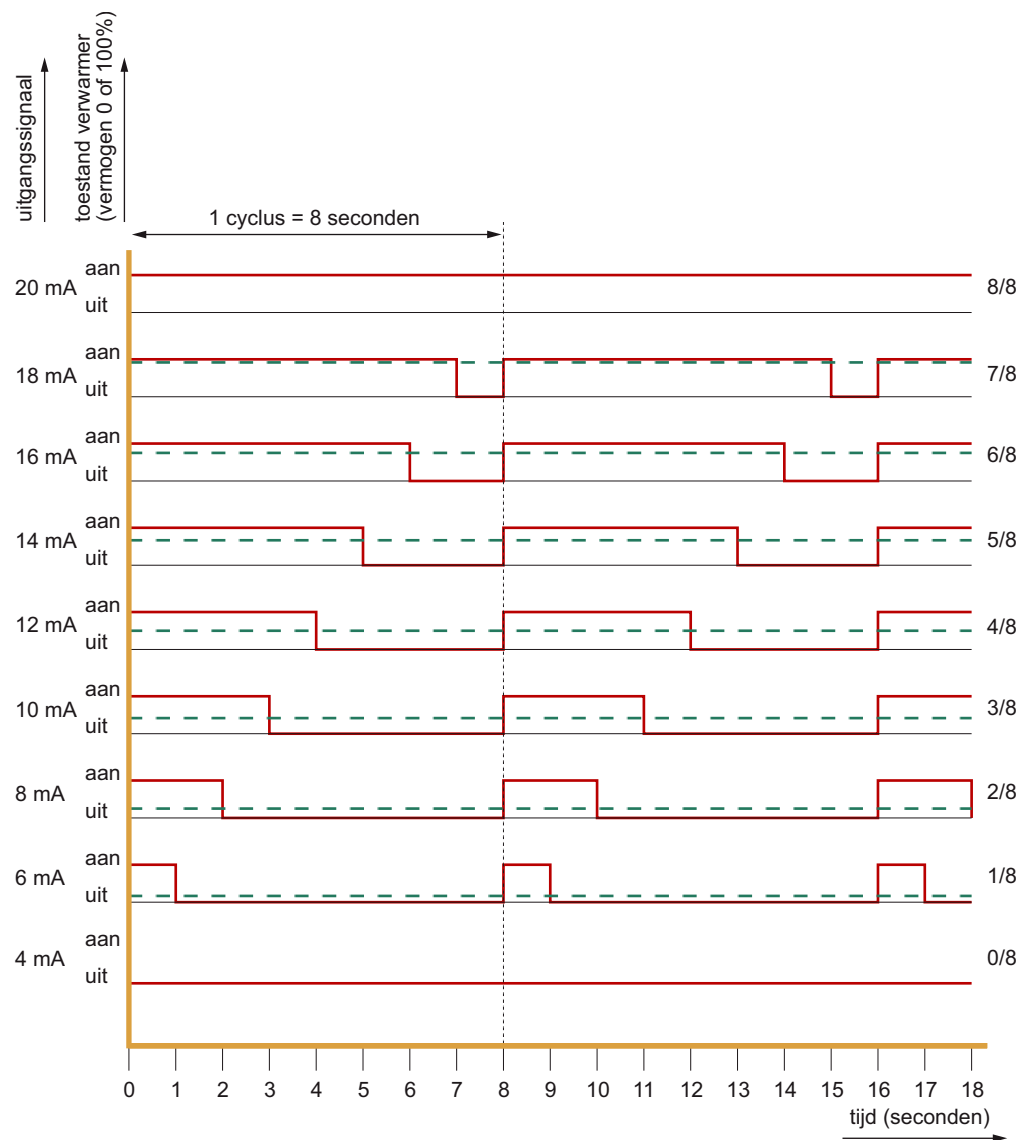
Figuur 562 Elektrische verwarming met vermogensregelaar

Wanneer men het verwarmingselement 4 seconden aan- en uitzet wordt slechts de helft van de maximale (verwarmings)energie toegevoerd. Deze wordt normaal in 8 seconden toegevoerd. Bij een stuursignaal van 20 mA is het verwarmingselement gedurende 8 seconden aan en 0 seconden uit. In dit geval wordt het maximale vermogen per 8 seconden toegevoerd.

Is het stuursignaal echter 8 mA, dan is het verwarmingselement 2 seconden aan en de rest van de tijd (6 seconden) uit. Wat het stuursignaal ook is, het gaat in **figuur 563** steeds om een totale aan- of uittijd van 8 seconden. Deze tijd is de cyclustijd. De cyclustijd kan men soms op de vermogensregelaar instellen. Een snel proces vraagt om een korte cyclustijd en een traag proces om een langere. Bij snelle processen ontstaan er eerder problemen door het pulserende gedrag dan bij trage processen. Als vuistregel geldt dat de cyclustijd minimaal tien keer kleiner moet zijn dan de tijdconstante van het proces. In principe blijft het een aan/uit regeling, waarbij

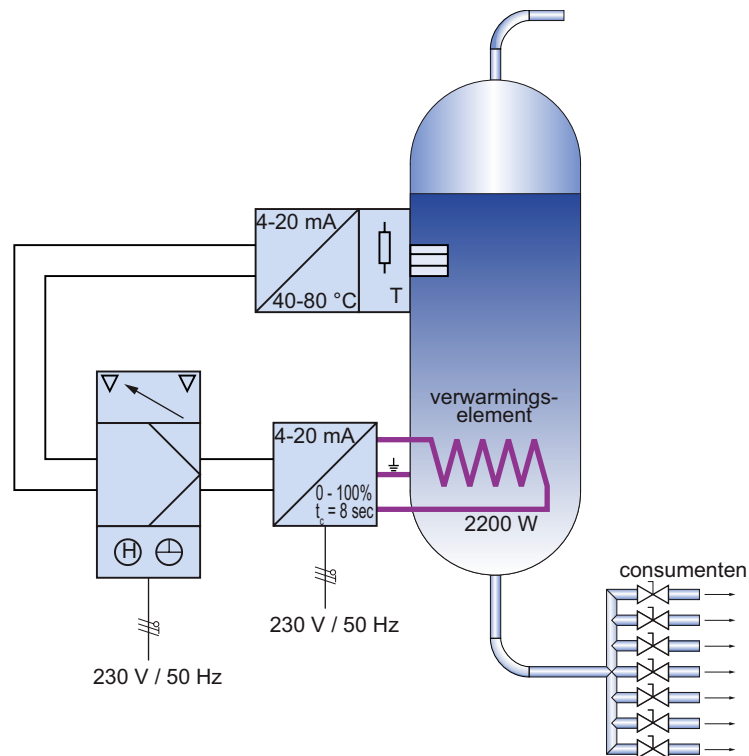
echter door de thermische vertraging van de elektrische verwarming het totaal een proportioneel karakter heeft. Het verwarmingselement zelf bestaat, afhankelijk van de toepassing, uit een RVS buis met zandvulling, waar weerstanddraad door heen loopt.

Er zijn ook vermogensregelaars voor infrarode stralingswarmte, bijvoorbeeld bij de fabricage van koekjes. De verwarmingselementen zijn dan meestal van keramisch buismateriaal met daarom heen weerstanddraad (straalkachel-principe).



Figuur 563 Inschakelfrequentie van verwarmingselement

In **figuur 564** ziet u het schema voor de installatie van **figuur 562**. De gebruikte vermogensregelaar, een andere dan die uit **figuur 563**, kan vermogens regelen tot 3 kW. De verwarmingsspiraal is 2200 watt.



Figuur 564 Installatieschema

Opgaven

463. Is de regelaar in **figuur 564** direct of omgekeerd werkend en geef dit in **figuur 564** aan.
464. Wat gebeurt er als de verbinding tussen de regelaar en de vermogensregelaar onderbroken wordt?
465. De regelaar geeft 10 mA aan de vermogensregelaar. Bepaal voor 10 mA aansturing aan de hand van **figuur 564** de cyclustijd van de vermogensregelaar en de aantijd voor het verwarmingselement.
466. Een verwarmingselement van 2200 watt/ 230 V gebruikt een stroom van circa 10 ampère. Wat kunt u nu zeggen over de stroom door de bedrading tussen vermogensregelaar en verwarmingselement en het aansluitsnoer van de regelaar op het lichtnet?
467. Het corrigerend orgaan bestaat meestal uit een corrigerend element en een bedienend element, die samen met de omvormer het signaal van de regelaar verwerken. Hoe zit dat in **figuur 564**?
468. Wat is het verschil tussen een vermogensregeling op tijd-proportionele basis en een frequentieregeling?

Hoofdstuk 15 Procescomputersyste- men

Inleiding

In dit hoofdstuk maken we de vertaalslag van een enkelvoudige, afzonderlijke regelaar naar een procescomputersysteem voor de beheersing van een complex proces met een groot aantal regelkringen. In **figuur 565** ziet u een voorbeeld van een moderne controlekamer van waaruit een complete energiecentrale wordt beheerst met behulp van een procescomputersysteem. Voor een afzonderlijke regelaar en een regelaar als onderdeel van een procescomputersysteem

geldt nog steeds als basis van de regelkring. In beide situaties bestaat de regelkring uit een opnemer, een regelaar, een corrigerend orgaan en de signaalverbindingen hiertussen. Bij een procescomputersysteem verloopt de verbinding tussen opnemer en regelaar anders en is de regelaar geen "los kastje" meer.



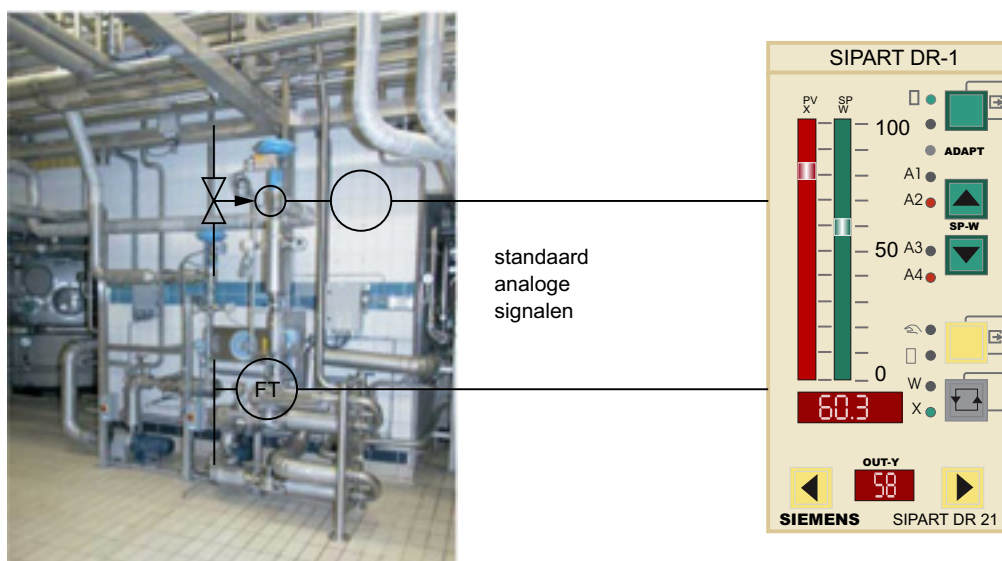
Figuur 565 Deel van controlekamer

Dit hoofdstuk behandelt de volgende onderwerpen:

- de individuele regelkring als onderdeel van een procescomputersysteemproces
- computersystemen met conventionele signaalverwerking
- bediening en mogelijkheden van een procescomputersysteem
- moderne recorders en data-collectiesystemen
- procescomputersystemen met remote I/O signalen
- procescomputersystemen met digitale opnemers en veldbus signalen
- procesbeheersing als integraal onderdeel van totale bedrijfsautomatisering

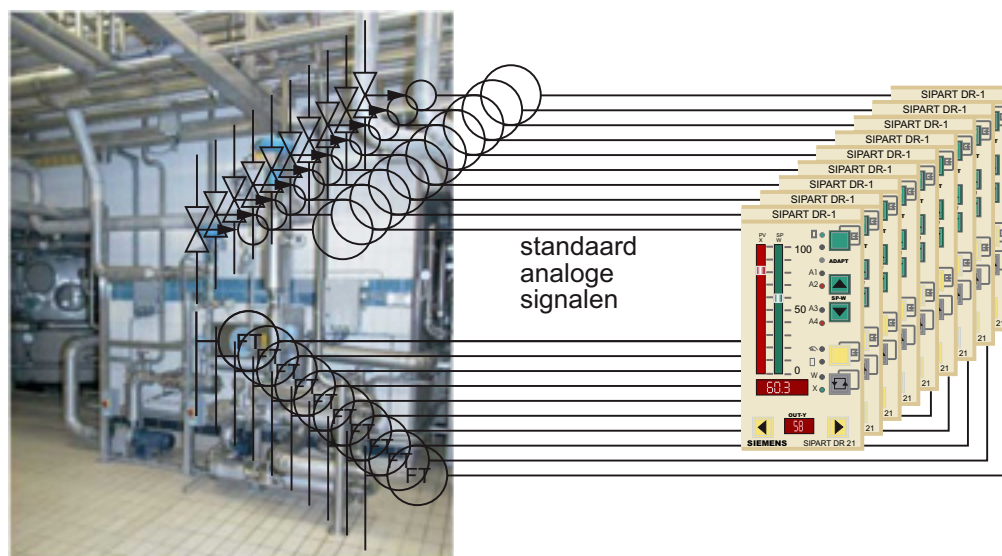
De individuele regelkring als onderdeel van een procescomputersysteem

In **figuur 566** ziet u een deel van een proces met daarin schematisch weergegeven een enkelvoudige flowregelkring met één afzonderlijke regelaar.



Figuur 566 Regelkring met individuele (losse) regelaar

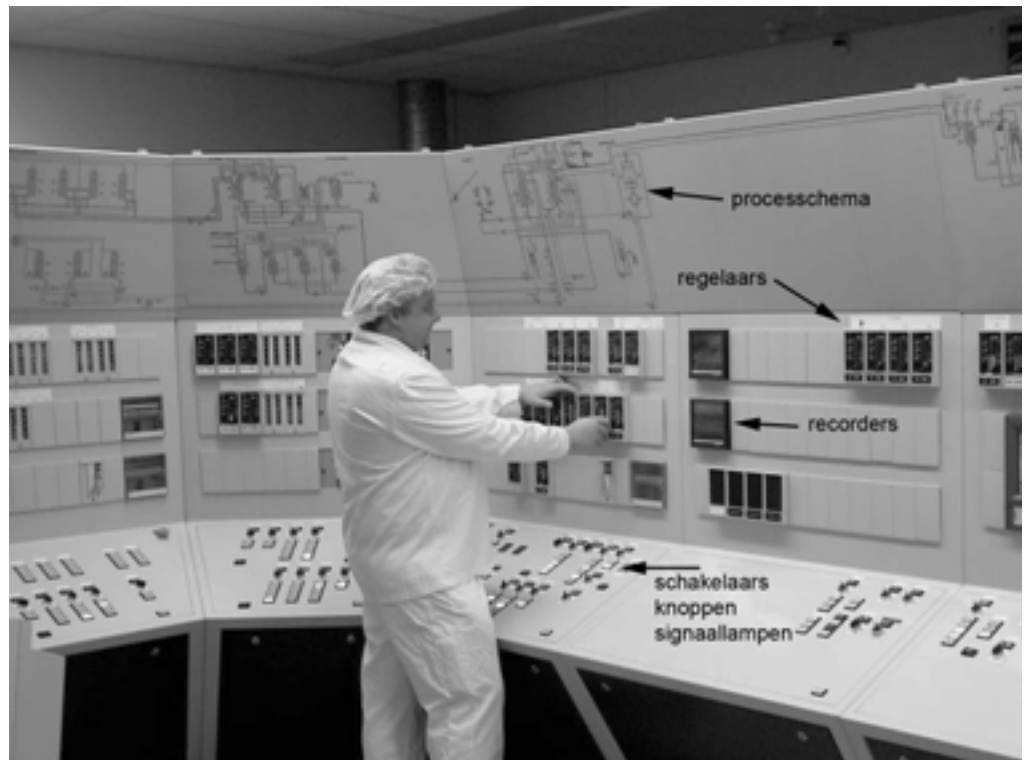
Dit deelproces heeft echter nog meer regelkringen. Elke regelkring heeft een eigen, individuele regelaar. In **figuur 567** ziet u de situatie met tien regelkringen.



Figuur 567 Proces met een tien regelkringen en individuele (losse) regelaars

In **figuur 567** zijn slechts tien regelkringen schematisch weergegeven. In werkelijkheid gaat het bij een proces van enige omvang om vele honderden signalen van en naar verschillende veldcomponenten zoals: transmitters, signaalgevers, kleppen en pompen. De signalen van en naar deze veldcomponenten gaan vervolgens naar een centraal

bedieningspaneel in een controlekamer. In **figuur 568** ziet u een foto van een controlekamer met een bedieningspaneel waar de bedieningsinstrumenten van de verschillende veldcomponenten zijn ondergebracht.



Figuur 568 Controlekamer met bedieningspaneel met individuele regelaars

Bij een modern systeem voor procesbeheersing worden alle regelaars, bedieningsknoppen, schrijvers, signaallampen ondergebracht in een procescomputer-systeem. De bediening vindt dan plaats via een monitor, toetsenbord of muis zoals u ook met een PC werkt.

Opgaven

469. Wat moet bij het bedieningspaneel in **figuur 568** worden aangepast als bij dit proces een temperatuurregeling wordt toegevoegd die zichtbaar moet zijn voor de operators?

In **figuur 569** ziet u een voorbeeld van een controlekamer waar de procesbeheersing uitgevoerd wordt met een modern procescomputersysteem en de bediening verloopt via monitoren, toetsenbord en een muis.



Figuur 569 Moderne controlekamer met bedieningsstations

Bij een procescomputersysteem verandert er niets aan het basisprincipe van een regelkring. De signaalverbindingen en uitvoering en bediening van de regelaar veranderen wel. We gaan nu eerst in op de verandering van de hardware van het systeem. Daarna behandelen we de mogelijkheden die een procescomputersysteem biedt voor de bediening met een beeldscherm en muis.

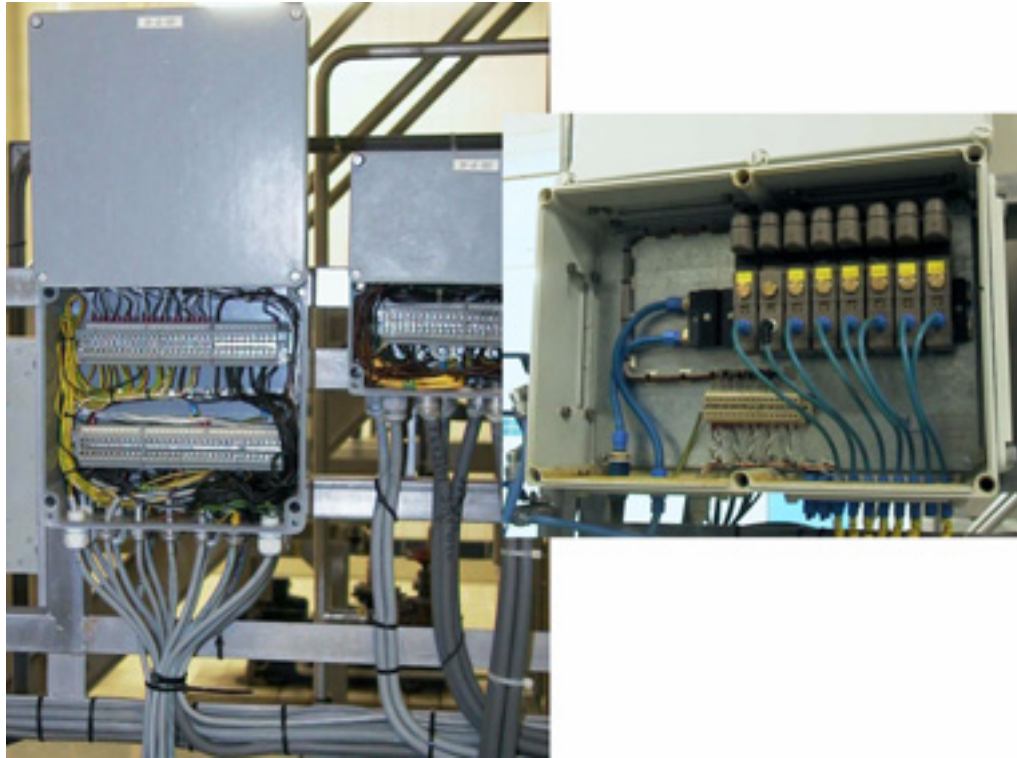
Opgaven

- 470.** Waarom worden er meerdere monitoren gebruikt bij de bediening vanuit een moderne controlekamer zoals in **figuur 569**?

Procescomputersystemen met conventionele signaalverbindingen

In **figuur 571** is schematisch weergegeven wat er verandert in de hardware als we overstappen van een bedieningspaneel met individuele instrumenten naar een procescomputersysteem met bedieningsstations. In deze figuur zijn de belangrijkste onderdelen van een procescomputersysteem weergegeven die we afzonderlijk zullen behandelen. (Bij een systeem met bedieningspanelen worden de detailonderdelen A en B van **figuur 571** ook meestal toegepast.)

Bij A worden alle individuele signaalkabels van de opnemers in het veld verzameld. In de zogenaamde "junctionbox" worden deze verbonden met een "multicorekabel". Deze multicorekabels kunnen uit wel 20 tot 30 draden (aders) bestaan. In **figuur 570** ziet u twee geopende junctionboxen.

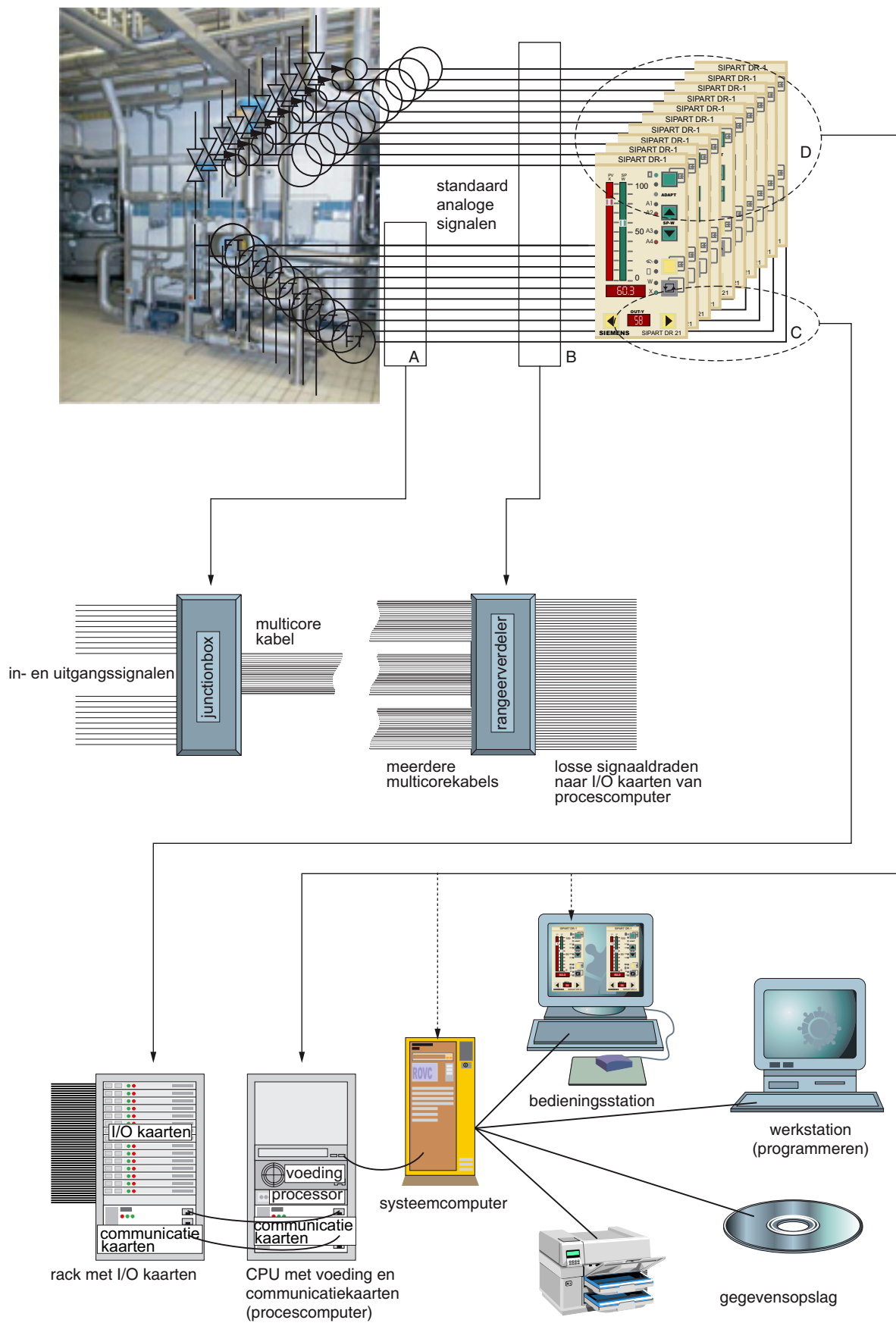


Figuur 570 Junctionboxen

In de omgeving van de procesinstallatie zijn meerdere van deze junctionboxen gemonteerd. In een dergelijke kast is een aantal instrumenten die bij elkaar horen gegroepeerd. Een andere logische onderverdeling is om alle instrumenten die met een luchtsignaal werken (kleppen) onder te brengen in één kast. Hiervan ziet u ook een voorbeeld in **figuur 570**.

Opgave

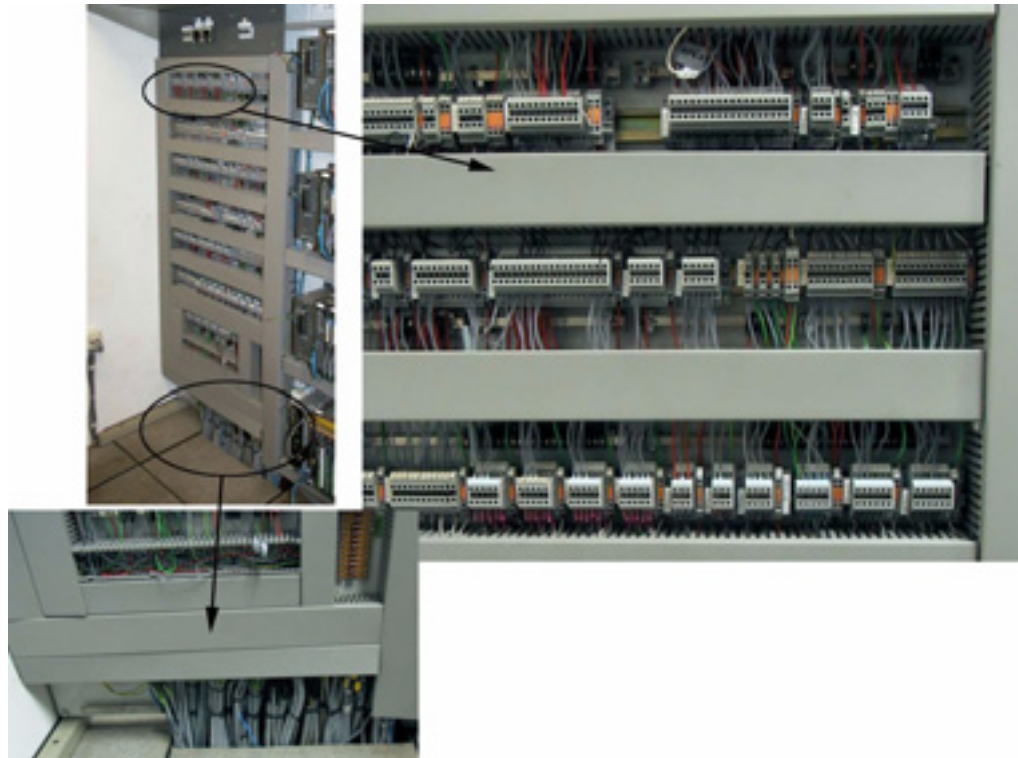
471. Geef, met behulp van de onderdelen in **figuur 571**, een beschrijving van wat verstaan wordt onder een "procescomputer-systeem".
472. Waarom worden er junctionboxen en multicorekabels toegepast. Noteer enkele voordelen en ook een nadeel.



Figuur 571 Individuele regelringen ondergebracht in een procescomputersysteem

De multicorekabels gaan van de junctionbox naar een centrale (schakel)ruimte waar ze naar een "rangeerverdeler" gaan. In **figuur 572** staan foto's van een dergelijke rangeerverdeler. In de rangeerverdeler worden de aders van de multicorekabel weer opgesplitst in individuele signaaldraden, zie B van **figuur 571**. In de rangeerverdeler worden de signaaldraden op de juiste aansluiting "gerangeerd"

die vervolgens naar de juiste ingangskaat (I/O-kaart) van de procescomputer gaan. Omdat het om zeer grote aantallen kabels gaat, is een juiste codering vanaf het veld tot aan de ingangskaat heel belangrijk. Deze coderingen worden ook allemaal vastgelegd op de aansluitschema's.



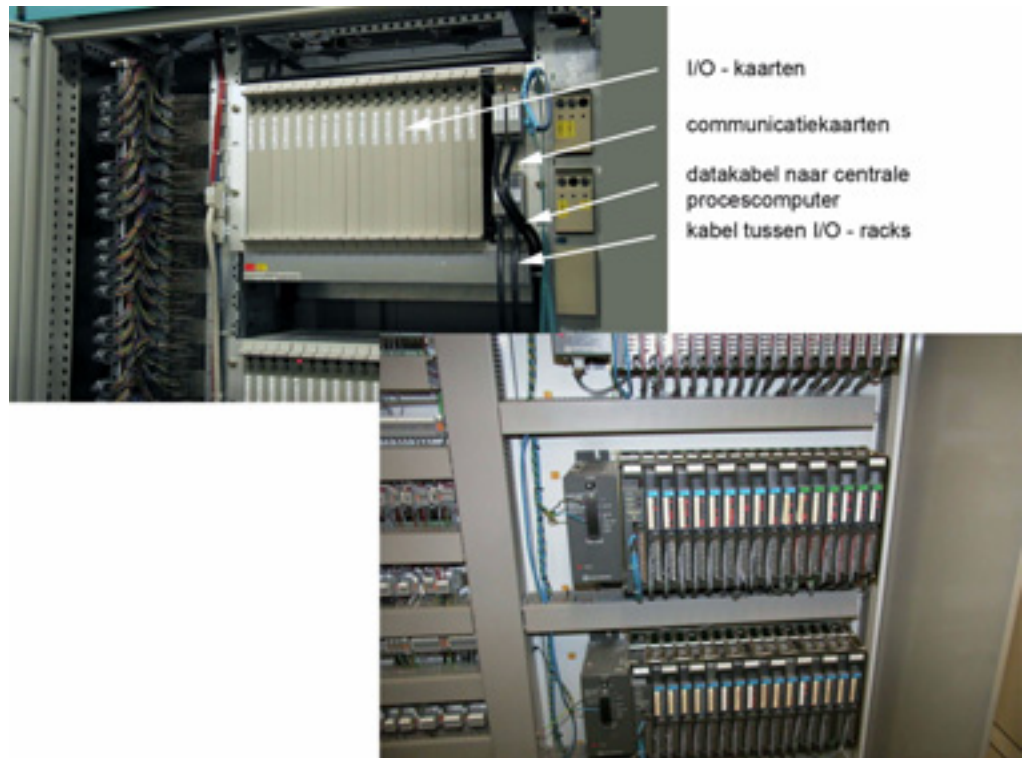
Figuur 572 Rangeerverdeler

Opgaven

473. Waarom wordt er een rangeerverdeler gebruikt en geen directe koppeling tussen multicorekabel en I/O-kaarten?

Bij C in **figuur 571** ziet u hoe de signaaldraden uit de rangeerverdeler worden aangesloten op de in- en uitgangskarten (I/O-karten) van de procescomputer. In **figuur 573** ziet u voorbeelden van I/O-karten van twee verschillende systemen. Eén I/O-kaart kan signalen van meerdere veldcomponenten verwerken. Het aantal is afhankelijk van het

type kaart en merk procescomputersysteem. Er zijn dan meerdere "kanalen" op een I/O-kaart aanwezig. De I/O-karten zetten onder andere de analoge signalen om naar digitale signalen. Een I/O-kaart kan ook andere taken uitvoeren.



Figuur 573 In- en uitgangskarten (I/O)

Bijvoorbeeld gegevens van alarmmeldingen opslaan totdat de procescomputer ze verder afhandelt, functies van de regelaar, bewaking van de grenzen van het ingangssignaal. De mogelijkheden zijn afhankelijk van het type kaart en het merk procescomputersysteem. De I/O-karten zijn gegroepeerd in een rack en hebben een gemeenschappelijke communicatiekaart en datakabel naar de procescomputer. Bij een complexe procesinstallatie met een groot aantal signalen zijn er meer van dit soort racks met I/O- kaarten nodig.

In **figuur 574** ziet u een voorbeeld van zo'n kast. Daarin zijn meerdere I/O-racks en tevens de procescomputer gemonteerd.



Figuur 574 Kast met meerdere I/O -racks en procescomputer

De signalen van de I/O-kaarten worden via een "communicatiekaart" en een datakabel overgedragen aan de Centrale Processor Unit (CPU). Dit is de eigenlijke "procescomputer", het hart van het totale systeem. Net als bij een gewone PC thuis bevat deze CPU een Processor (chip) die de diverse taken in het systeem uitvoert. Deze processor is meestal speciaal ontwikkeld voor de taken in een procescomputersysteem. Zoals in D van **figuur 571** te zien is, zijn hier onder andere de individuele regelaars als softwareblokken geprogrammeerd. In **figuur 575** en **figuur 576** ziet u twee voorbeelden van een dergelijke centrale processor unit met de benodigde communicatiekaarten en voeding.



Figuur 575 centrale processor unit



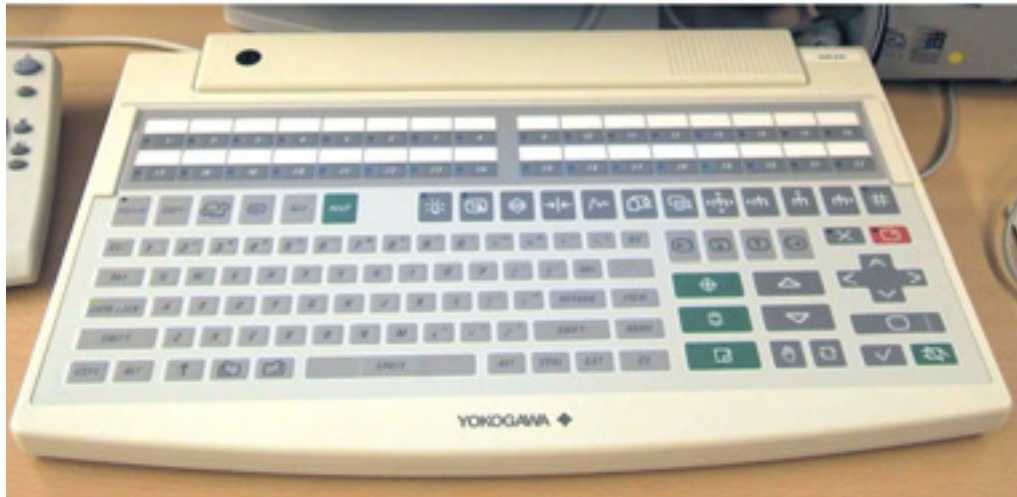
Figuur 576 centrale processor unit

Deze centrale processor unit is via een communicatiekaart en kabel verbonden met een andere computer in het systeem die meer lijkt op de PC bij u thuis. Deze noemen we de systeemcomputer. De systeemcomputer voert andere taken uit dan de CPU, zoals; communiceren met andere systeemonderdelen, visualisatie van proces (gegevens) op de monitoren van de bedieningsstations en beheer en opslag van procesgegevens. De visualisatiesoftware zorgt er voor dat op de monitor weer een herkenbaar frontje van een regelaar te zien is waarmee de regelkringen te

bedienen zijn. Op deze systeemcomputer zijn de bedieningsstations, de printers, een middel voor data-opslag en een werkstation aangesloten (zie **figuur 571**).

De bedieningsstations zijn de vervanging van het oude bedieningspaneel. Met een bedieningsstation kunt u alle procesgegevens bekijken, regelaars instellen, kleppen openen/sluiten, pompen aan- of uitschakelen enz. Zo'n bedieningsstation kan er uit zien als een gewone monitor met toetsenbord en muis, maar het kan ook een speciaal toetsenbord

hebben met specifieke functieknoppen (softkeys) voor de bediening (zie **figuur 577**). Een bedieningsstation wordt een "Mens-Machine-Interface (MMI)" genoemd.



Figuur 577 Toetsenbord met speciale functietoetsen voor de bediening

Het werkstation (ook wel engineeringstation genoemd) wordt gebruikt voor het programmeren van de diverse onderdelen in het systeem. Hiermee worden bijvoorbeeld softwarematig de regelkringen geprogrammeerd. Het juiste ingangssignaal van een bepaalde I/O-kaart wordt gekoppeld aan een regelaarblok. Vervolgens wordt het uitgangssignaal van dit regelaarblok aan het juiste kanaal van de betreffende uitgangkaart gekoppeld. Het signaal van deze kaart gaat naar de component in het veld. Zo kunnen alle signalen worden verwerkt tot informatie en bedieningsfuncties die gebruikt worden bij de bedieningsstations. Bij het maken van deze softwarematige koppelingen tussen in- en uitgangssignalen speelt de unieke tag-code (bijvoorbeeld TICA-201) een heel belangrijke rol. Deze code wordt verwerkt in de namen van alle softwareblokken en signalen zodat de onderlinge verbindingen duidelijk zijn. Het zijn nu geen zichtbare kabeltjes meer tussen de componenten. Het is belangrijk dat deze tag-codes bij het begin van een automatiseringsproject eenduidig worden vastgelegd.

De CPU en de systeemcomputer hebben verschillende taken. De CPU moet bijvoorbeeld alle I/O-signalen zeer snel verwerken zodat regelkringen met de actuele proceswaarden werken. Hij moet een grote reken capaciteit hebben voor de regelkringen. De systeemcomputer moet meer geschikt zijn voor beheer, opslag en verwerking van alle procesgegevens en communicatie met andere onderdelen van het totale systeem. De CPU heeft vaak een leveranciersafhankelijk besturingssysteem en bijbehorende software terwijl de systeemcomputer met gestandaardiseerde besturingspakketten en software werkt, zoals Windows NT of Unix. Omdat deze software gestandaardiseerd is, kan de systeemcomputer ook eenvoudige gegevens uitwisselen met andere gestandaardiseerde systemen.

De communicatie van de CPU loopt via een communicatiemodule en kabel naar de systeemcomputer. Het type communicatiekaart en signaal is afhankelijk van het merk computersysteem, software en datatype. De CPU kan ook direct met een netwerkkaart aangesloten zijn op een lokaal netwerk van de locatie. De informatie is nu in principe "open"

beschikbaar als er een computer op het netwerk wordt aangesloten met het juiste softwareprogramma om de informatie op een goede manier te ontvangen.

481. Op een bedieningsstation blijkt dat de gemeten waarde van een regelkring niet meer wordt weergegeven. Noteer wat en waar u gaat controleren om de oorzaak van deze storing te achterhalen.

Opgaven

474. Noem een voordeel van een speciaal toetsenbord met functietoetsen bij de bediening.

475. Waarom is een extra systeemcomputer nodig voor gegevensbeheer, printen, communicatie met bedieningsstations? Kunt u met een gewone PC goed doorwerken als deze een printopdracht verwerkt of gegevens met de harde schijf of CD-rom uitwisselt?

In de directe omgeving van de procesinstallatie zijn ook speciale bedieningsstations te vinden zoals te zien is op de foto in **figuur 578**.



Figuur 578 Lokaal bedieningsstation

476. Waarom wordt een lokaal bedieningsstation toegepast?

477. Hoe kunt u constateren dat één I/O-kaart defect is?

478. Waarom lopen er in **figuur 571** twee communicatieverbindingen van de I/O kaarten naar de CPU?

479. Noem alle verschillende type I/O-kaarten die er mogelijk zijn, gelet op de verschillende signaaltypen van en naar het veld?

480. Waarom is een procescomputersysteem veel flexibeler in de verwerking van procesgegevens dan een conventionele oplossing met individuele regelaars?

DCS versus PLC/SCADA

Er is een tweedeling te maken in de typen CPU's. Bij de traditionele procescomputersystemen van bekende merken als Foxboro, Yokogawa, Honeywell is de CPU een speciaal ontwikkelde procescomputer. Deze kenmerkt zich door een grote betrouwbaarheid, grote reken capaciteit om "analoge" signalen van regelkringen te verwerken, dubbel uitgevoerde (redundant) processoren etc. De CPU kan echter ook een moderne PLC (Programmable Logic Controller) zijn. Deze zijn tegenwoordig meer geschikt om met grote aantallen analoge signalen en regelkringen te werken. Bij de traditionele procescomputersystemen is de software voor programmeren en het visueel maken van informatie op een bedieningsstation onderdeel van de door de leverancier zelf ontwikkelde software. Het is als zodanig een geïntegreerd onderdeel van het systeem en ook specifiek voor dat merk. Bij een systeem met een PLC als CPU is de software voor de PLC programmering wel merkafhankelijk. De software voor gegevensbeheer, visualisatie en bediening zijn niet merkgebonden. Deze softwarepakketten zijn geschikt voor diverse merken PLC-systemen omdat ze

werken op systeemcomputers met standaard besturingsprogramma's. Deze software wordt SCADA genoemd wat staat voor Supervisory Control And Data Acquisition.

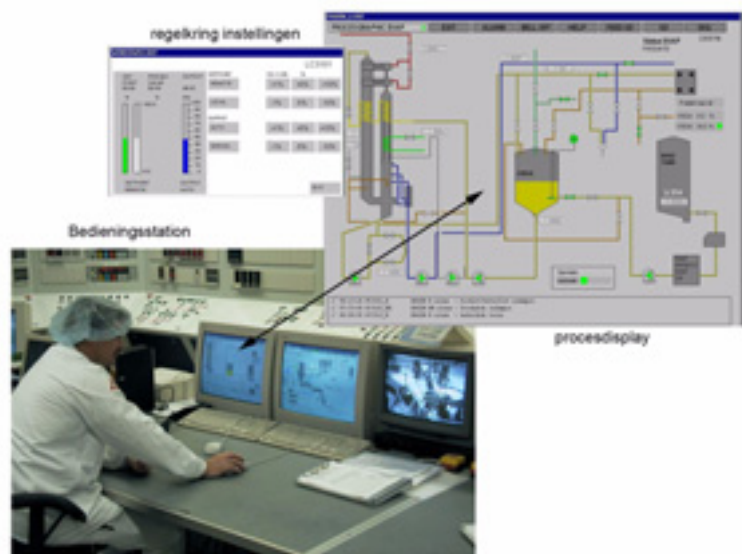
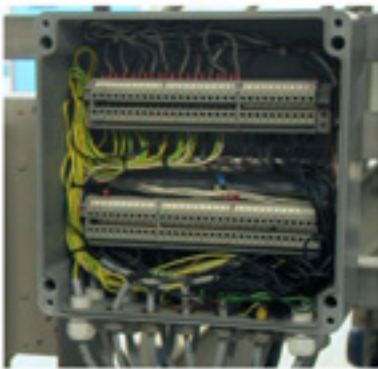
De traditionele procescomputersystemen worden DCS-systemen genoemd terwijl de andere variant een PLC/SCADA-systeem wordt genoemd. DCS staat voor Distributed Control System. Dit betekent dat de controle van het systeem verdeeld is over verschillende componenten en niet alles door één enkele computer. Als zodanig is deze benaming ook van toepassing op een PLC/SCADA systeem omdat ook hier de controle van het proces verdeeld is over meerdere componenten. De verschillen tussen traditionele DCS-systemen en PLC/SCADA-systemen worden kleiner omdat leveranciers steeds meer inspelen op de wensen van de klanten. De reken capaciteiten (kracht) van PLC's zijn enorm toegenomen en ook de mogelijkheden om digitale signalen te verwerken waardoor ze meer geschikt zijn voor regelkringen. De DCS leveranciers leveren ook steeds vaker kleinschalige systemen die goedkoper zijn, flexibeler uit te breiden en eenvoudiger te koppelen aan systemen van andere leveranciers. In de tabel in **figuur 579** staan een aantal kenmerkende verschillen.

PLC/SCADA	DCS
goedkoper	grote systemen duur, kleinschalige systemen goedkoper
kleine en middelgrote installaties met veel ja/nee signalen (schakelaars)	grote installaties met veel regelkringen en bediening vanuit centrale controlekamer kleine systemen ook voor kleinere installaties
productie-installaties, machinebouw (voedingsindustrie, verpakkingsindustrie)	procesinstallaties (chemische fabrieken, raffinaderijen)
batchprocessen, deelprocessen die voor een groot deel onafhankelijk van elkaar werken	continue processen die in grote mate met elkaar in verband staan
een PLC als CPU en een PC voor de visualisatie en databeheer (SCADA)	een procescomputer als CPU met geïntegreerde software voor visualisatie
verwerking van in- uitgangssignalen via een database met een vaste scantijd van verwerking	continue uitwisseling van in- uitgangsgegevens
grote capaciteit en snelheid voor logische (aan/uit) schakelingen	grote capaciteit en snelheid voor rekenfuncties voor regelkringen
tijdstip van gegevensverwerking niet helemaal vast	tijdstip en snelheid van gegevensverwerking helemaal voorspelbaar (real-time)

Figuur 579 Kenmerkende verschillen

Opgaven

- 482.** Wat is de vertaling van de afkorting SCADA? Wat is de functie van deze software?
- 483.** Noteer in eigen bewoordingen wat verstaan wordt onder het begrip "DCS".



Figuur 580 Overzicht procescomputersysteem

Opgaven

In **figuur 580** ziet u nogmaals alle hoofdonderdelen van het totale procescomputer-systeem samengevat vanaf de opnemer en regelklep in het veld tot de weergave van deze regelkring op het display van het bedieningsstation.

484. Geef in **figuur 580** met verschillende lijnen aan hoe het signaal van de opnemer naar het beeldscherm verloopt. Denk aan alle afzonderlijke overgangen. Doe dit ook voor het signaal van de regelaar naar de regelklep.

485. Welke verbindingen zou u "dubbel" uitvoeren gelet op de beschikbaarheid van het systeem?

486. Vanaf welk punt in dit systeem kunt u het signaal van de transmitter niet meer meten met een multimeter?

Gebruik bedieningsstation procescomputersysteem

We gaan nu verder in op de mogelijkheden die er zijn bij de bediening van een proces met een computersysteem. Op de monitor van het bedieningsstation zijn alle informatie en bedieningsfuncties (en nog meer) terug te vinden die anders op een bedieningspaneel zouden zitten. In **figuur 581** ziet u een bijna één op één vertaling van een instrumentenpaneel met 18 branderbesturingen naar één plaatje op de monitor met dezelfde besturingen.

De vormgeving op het scherm verschilt per systeem en softwarepakket. Toch is de basisindeling van het scherm vaak vergelijkbaar. Een aantal belangrijke basisbedienings-

schermen kom je bij ieder systeem tegen. De presentatie is "windows-achtig"; de bediening met toetsenbord en muis is vergelijkbaar met de PC thuis.

We gaan de volgende bedieningsschermen bekijken:

- processchema
- regelaarinstellingen
- groepsoverzichten
- trendgrafieken
- alarmlijsten



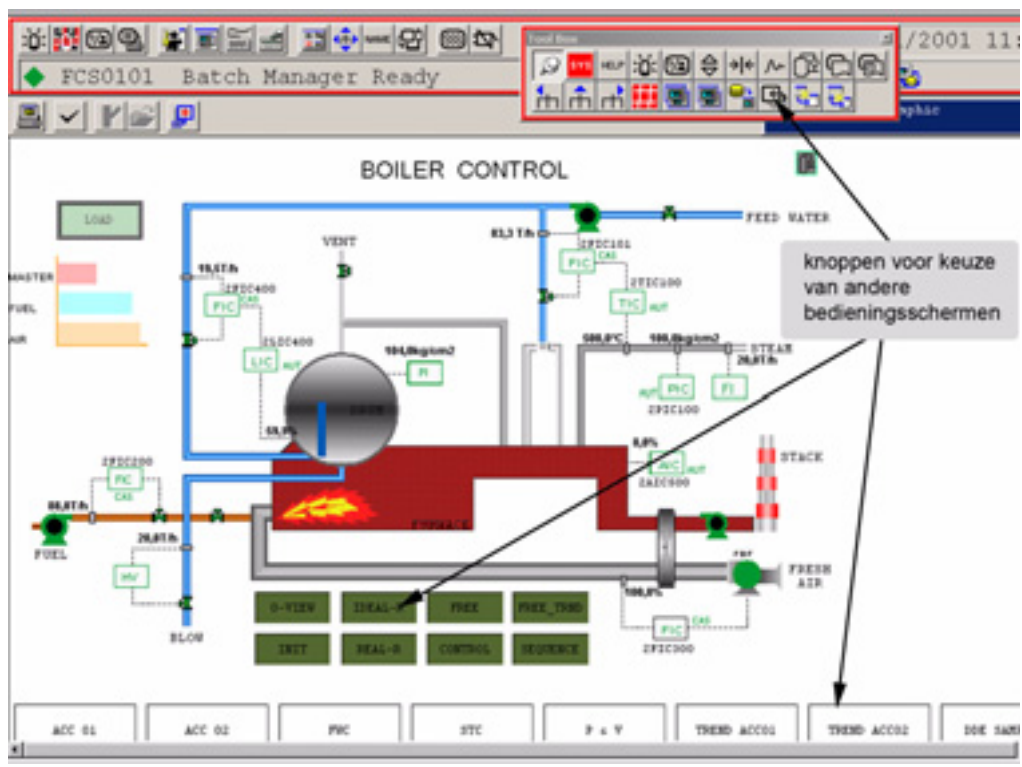
Figuur 581 Bedieningspaneel omgezet naar weergave op een monitor

Processchema

In **figuur 582** en **figuur 583** ziet u twee plaatjes van beeldschermen met een processchema. Deze zijn van twee verschillende systemen. U heeft met dit processchema in één oogopslag een overzicht van het proces. U kunt de belangrijkste proceswaarden aflezen, regelkringen, kleppen en pompen bedienen.

U ziet op beide plaatjes een aantal knoppen, te bedienen met de muis of eventueel via een "touchscreen". Met deze bedieningsknoppen kunt u verschillende andere schermen

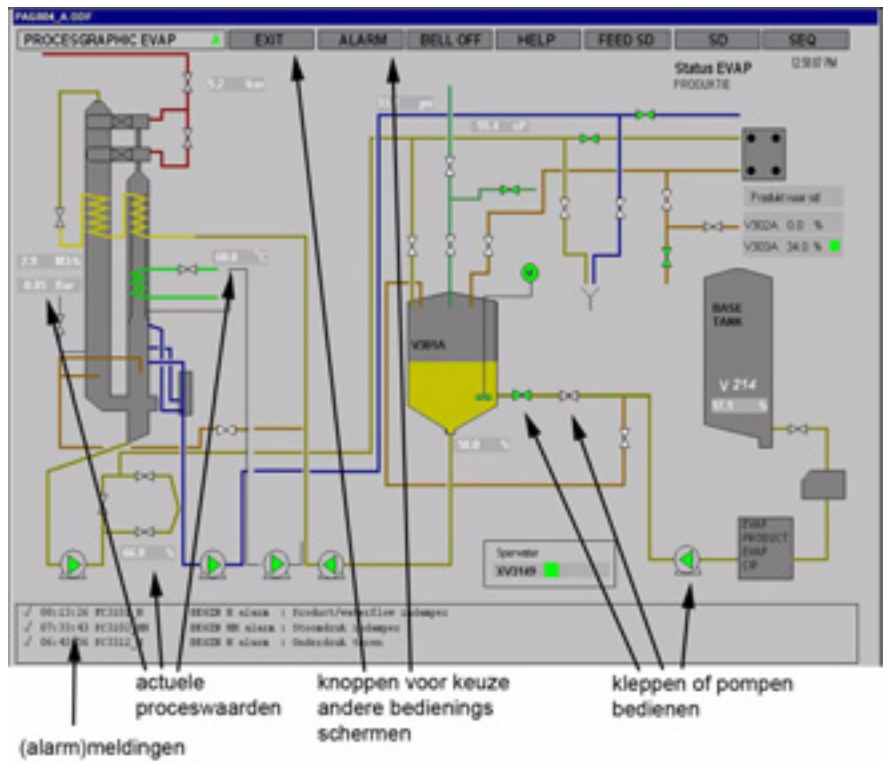
oproepen. U ziet ook dat een deel van het scherm gebruikt wordt om belangrijke proces- en alarmmeldingen weer te geven. Door met de muis op bijvoorbeeld een klep, regelkring of pomp te klikken, kunt u een nieuw venster openen voor de bediening van deze component. In **figuur 584** ziet u een voorbeeld van zo'n venster voor het bedienen van een regelaar. In dit venster van de regelaar kunt u alleen de belangrijkste instellingen van de regelaar wijzigen.



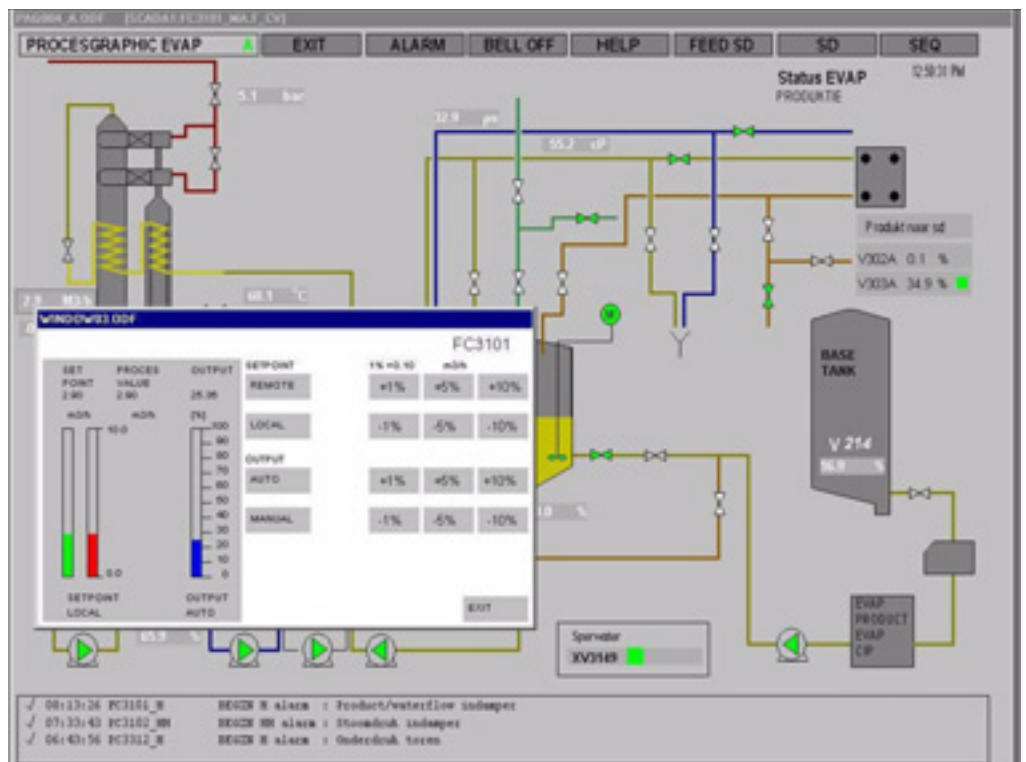
Figuur 582 Beeldscherm met processchema

Opgaven

487. Wat is het voordeel dat in het processchema van **figuur 582** de regelkringen en tag-codes aangegeven zijn?
488. Noem een aantal voordelen van bediening van een proces via een beeldscherm met een processchema vergeleken met een bedieningspaneel zoals in **figuur 568**.



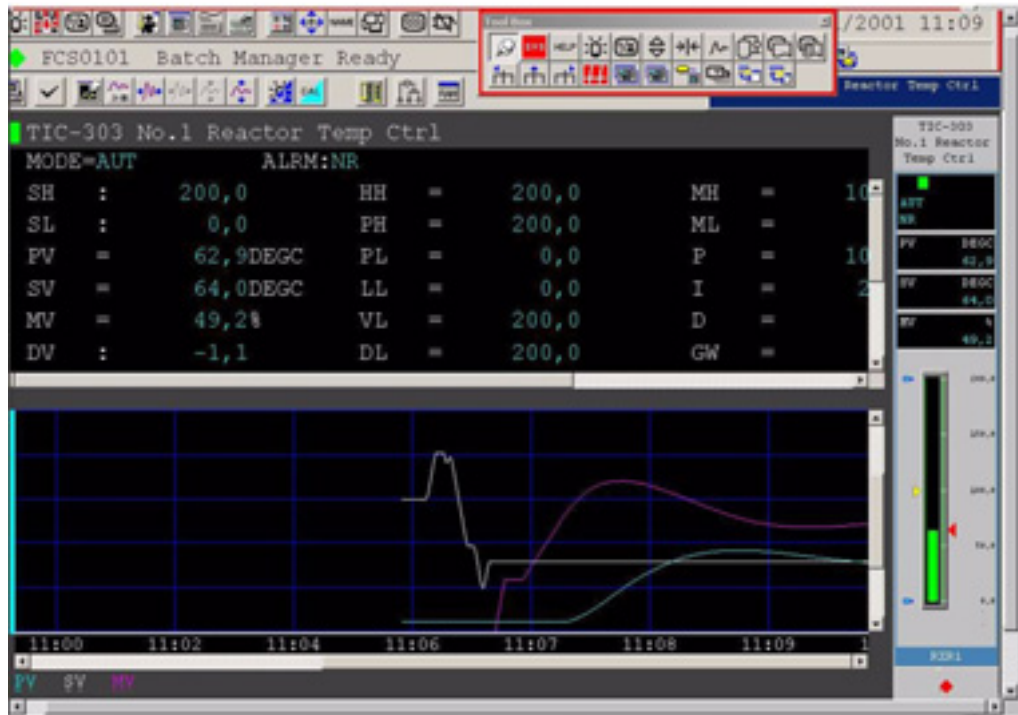
Figuur 583 Beeldscherm met processchema



Figuur 584 Beeldscherm met processchema en detailvenster voor bediening FC3101

Regelaarinstellingen

Als u bijvoorbeeld de PID-waarden van een regelaar wilt instellen, kunt u met een ander scherm alle instellingen van zo'n regelaar oproepen. In **figuur 585** ziet u daar een voorbeeld van.



Figuur 585 Bedieningsscherm voor regelaarinstellingen

Opgaven

489. Van welke regelkring is het detailvenster in **figuur 585**?

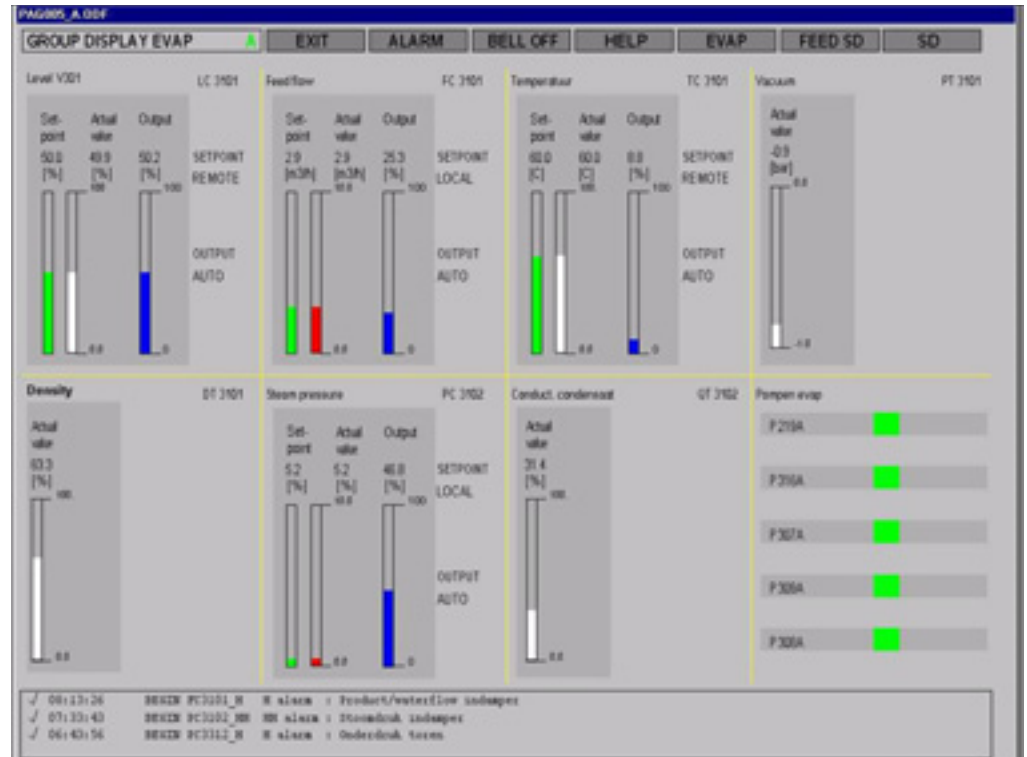
Niet iedere medewerker mag alle parameterinstellingen van een regelaar (of andere kritische parameters) veranderen. In een procescomputersysteem wordt daarom gewerkt met verschillende bedieningsniveau's. Voor ieder bedieningsniveau is vastgelegd welke vrijheid iemand heeft om instelling wel of niet te veranderen. Een gebruiker wordt dan ingedeeld in een bedieningsniveau en hiermee ligt ook vast welke instellingen veranderd mogen worden.

490. Waarom zou men in de praktijk verschillende bedieningsniveau's toepassen?

Groepsoverzichten

Soms is het nuttig een aantal instrumenten voor de bediening van een specifiek stuk van het proces te groeperen in één beeldschermplaatje. Dit bedieningsscherm wordt een groepsoverzicht genoemd. In **figuur 586** ziet u een voorbeeld. Dit zijn regelingen van het

deelproces waarvan het processchema in **figuur 583** staat. In de oude situatie met een bedieningspaneel werden deze instrumenten ook vaak op een logische manier bij elkaar gerangschikt.



Figuur 586 Groepsoverzicht

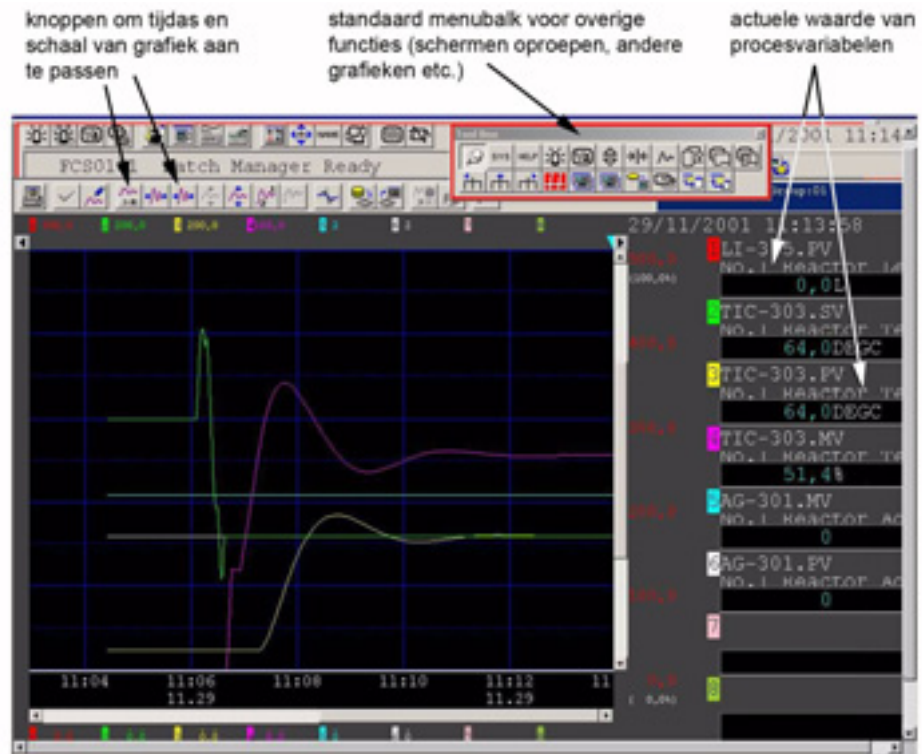
Opgaven

491. Noem drie redenen waarom het groeperen van deze regelaars en pomp-schakelaars helpen bij de bewaking van het proces.

Trendgrafieken

Naast de bediening is het mogelijk om proceswaarden te registreren. Dit gebeurt met trendgrafieken die op het beeldscherm zijn op te roepen. Dit is de vervanging van de traditionele papierschrijver. U kunt via de printer ook afdrucken maken van deze trendgrafieken. In **figuur 587** ziet u een voorbeeld van

een trendgrafiek op een beeldscherm. U kunt hier informatie van procesgrootheden over langere tijd (uren, dagen) aflezen. Omdat al deze gegevens worden opgeslagen in de database kunt u ook informatie uit het verleden oproepen.



Figuur 587 Beeldscherm met trendgrafiek van procesparameters

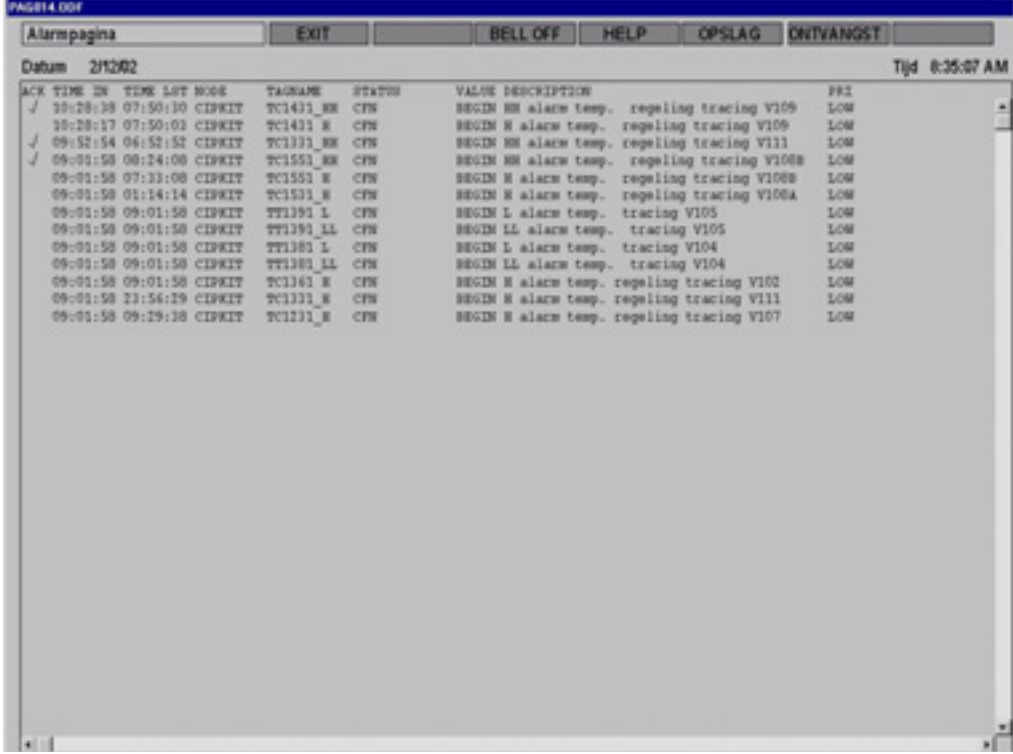
Het is mogelijk om zelf in te stellen welke procesparameters samen in een grafiek geschreven worden. U kunt via de knoppenbalk ook de assen aanpassen.

Opgaven

492. Hoe kan een trendgrafiek u helpen bij het opzoeken van een storing in een regelkring?

Alarmlijsten

In **figuur 588** ziet u een voorbeeld van een alarmlijst. In een alarmlijst staan alle actuele alarmen in een overzicht samengevat.



PAG014.D04

Alarmpagina EXIT BELL OFF HELP OPSLAG ONTVANGST

Datum 2/12/02 Tijd 8:35:07 AM

ACK	TIME IN	TIME LST	NODE	TAGNAME	STATUS	VALUE	DESCRIPTION	PRI
✓	10:28:38	07:50:30	CIPKIT	TC1431_EE	CFW	BEGIN	EH alarm temp. regeling tracing V109	LOW
	10:28:37	07:50:03	CIPKIT	TC1431_E	CFW	BEGIN	E alarm temp. regeling tracing V109	LOW
✓	09:52:54	04:52:52	CIPKIT	TC1331_EE	CFW	BEGIN	EH alarm temp. regeling tracing V111	LOW
✓	09:01:58	08:24:00	CIPKIT	TC1551_EE	CFW	BEGIN	EH alarm temp. regeling tracing V108B	LOW
	09:01:58	07:33:00	CIPKIT	TC1551_E	CFW	BEGIN	E alarm temp. regeling tracing V108B	LOW
	09:01:58	01:14:14	CIPKIT	TC1531_E	CFW	BEGIN	E alarm temp. regeling tracing V108A	LOW
	09:01:58	09:01:58	CIPKIT	TT1391_L	CFW	BEGIN	L alarm temp. tracing V105	LOW
	09:01:58	09:01:58	CIPKIT	TT1391_LL	CFW	BEGIN	LL alarm temp. tracing V105	LOW
	09:01:58	09:01:58	CIPKIT	TT1381_L	CFW	BEGIN	L alarm temp. tracing V104	LOW
	09:01:58	09:01:58	CIPKIT	TT1381_LL	CFW	BEGIN	LL alarm temp. tracing V104	LOW
	09:01:58	09:01:58	CIPKIT	TC1361_E	CFW	BEGIN	E alarm temp. regeling tracing V102	LOW
	09:01:58	23:56:29	CIPKIT	TC1331_E	CFW	BEGIN	E alarm temp. regeling tracing V111	LOW
	09:01:58	09:29:38	CIPKIT	TC1231_E	CFW	BEGIN	E alarm temp. regeling tracing V107	LOW

Figuur 588 Alarmlijst

De alarmmeldingen worden ook afgedrukt op een printer die speciaal voor het vastleggen van deze meldingen aan het systeem gekoppeld is.

Opgaven

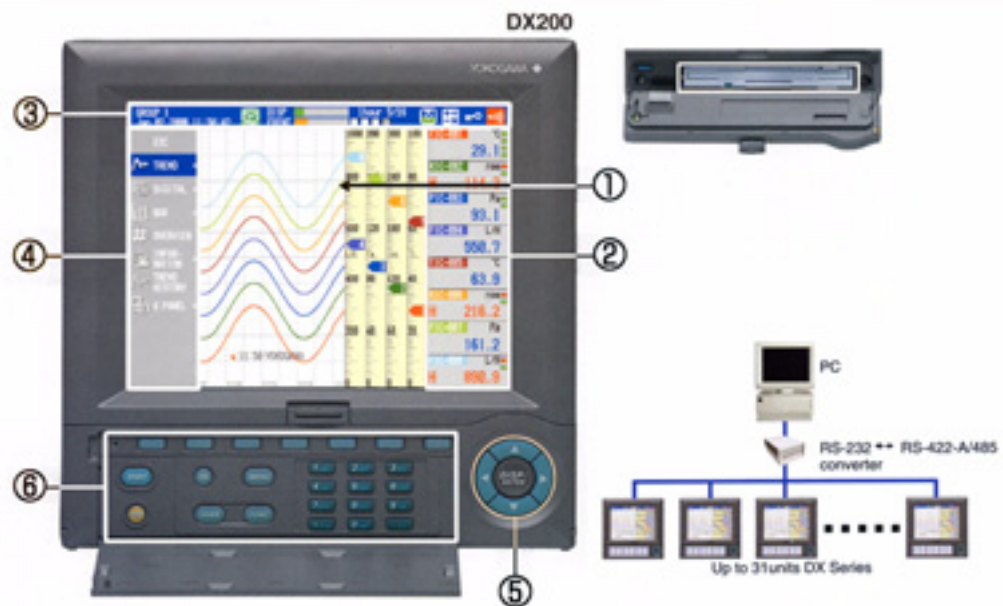
493. Waarom wordt er aan de alarmen in **figuur 588** een prioriteit (PRI) toegekent? Iedere alarmmelding is toch belangrijk?

Moderne recorder en data-collectiesystemen

Naast de uitgebreide mogelijkheden die een procescomputersysteem biedt voor het verwerken, visualiseren en opslaan van procesgegevens worden er ook nog "stand-alone" schrijvers gebruikt. Deze hebben soms een grafisch display in plaats van de bekende papierstrook. Daarnaast bieden ze de mogelijkheid om grote hoeveelheden gegevens lokaal op te slaan. Ze kunnen aangesloten worden op een PC waardoor de informatie op afstand kan worden uitgelezen, verwerkt en opgeslagen. Met andere communicatieverbindingen kan een dergelijke recorder ook met

een procescomputersysteem worden verbonden. Het wordt zo meer dan een lokale schrijver; ze krijgen meer de functie van "data-collectie" systeem.

In **figuur 589** staan afbeeldingen van een dergelijke moderne recorder. Vergeleken met de conventionele schrijvers met papierstrook bieden deze recorders veel meer mogelijkheden. Ze kunnen gegevens op verschillende wijzen weergeven op het display en met andere netwerken communiceren.



Figuur 589 Moderne (papierloze) recorder voor data-collectiesysteem

1. grafische weergave signalen
2. actuele waarde in cijfers met eenheid en instrumentcode
3. status van de recorder en meldingen
4. keuze van displayweergave (grafiek, bargraph, getalwaarde)
5. navigatiekop voor menukeuze
6. toetsenpaneel voor configuratie van recorder

Opgaven

494. In welke situatie zou u een dergelijke recorder of data-collectiesysteem toepassen?

Uitgebreid
procescompu-
tersysteem met
conventionele
signaal-
verwerking

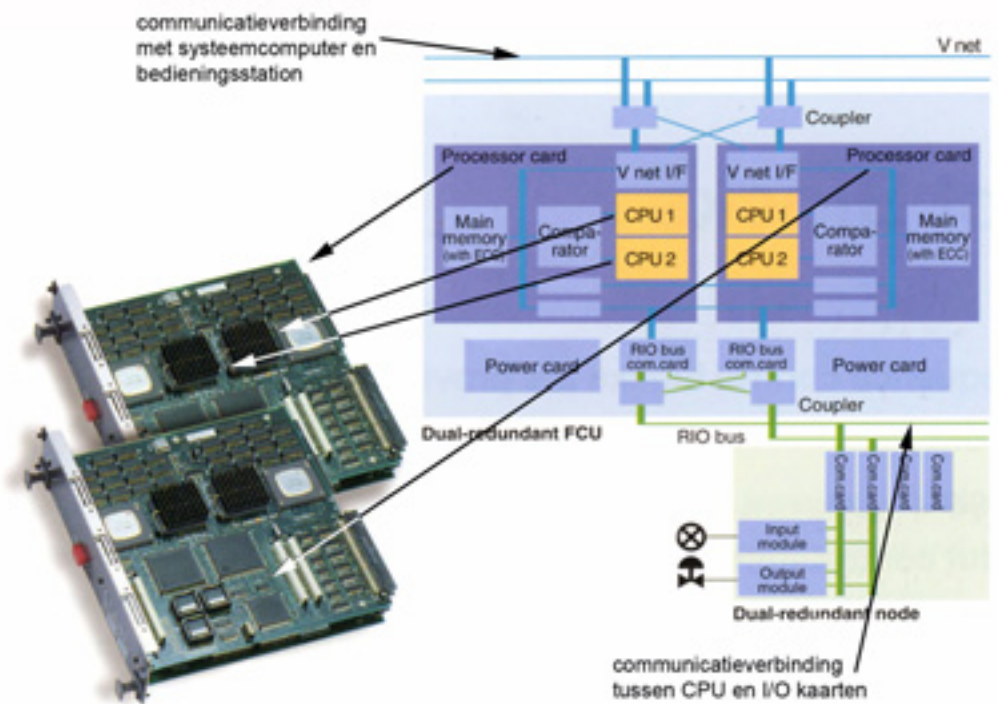
Alle onderdelen van een procescomputer-systeem nu behandeld. Nu gaan we verschillende varianten en mogelijkheden van uitbreiding behandelen.

In het schema in **figuur 571** staan alle hoofdonderdelen en communicatieverbindingen van een procescomputersysteem met conventionele analoge signalen. Het gaat hier om een principeplaatje, waarmee u de basisstructuur kunt herkennen. De onderdelen en verbindingen zijn daarom enkelvoudig getekend. Bij een complex proces met veel I/O-signalen, meerdere deelprocessen en bedieningsstations is het systeem uitgebreider. Bepaalde onderdelen worden dubbel uitgevoerd. In plaats van één rack met I/O-kaarten zijn er meerdere racks nodig om alle signalen te verwerken. In plaats van één CPU worden er twee geïnstalleerd zoals te zien is in **figuur 575**. Als deze CPU's dezelfde taken kunnen uitvoeren voor dezelfde I/O-signalen, dan wordt gesproken van een redundant systeem.

Als één CPU uitvalt, kan de andere het werk overnemen en zo voorkomen dat het hele proces stil te liggen. Meestal staat één CPU in de stand-by stand en controleert deze de werking van de andere. Bij uitval van een CPU neemt de ander direct diens taken over. Het is ook mogelijk dat er twee CPU's worden gebruikt die verschillende delen van het proces en I/O beheersen. Bij uitval komt dan alleen dat deel van het proces stil te liggen.

De verbinding tussen de I/O-kaarten en de CPU kan enkelvoudig, maar ook dubbel zijn uitgevoerd. Ook dit is een vorm van redundantie zodat bij een storing in een van de verbindingen niet alle communicatie en daarmee het proces komt stil te liggen.

In **figuur 590** ziet u CPU-kaarten van Yokogawa DCS systeem. Het blokschema geeft de verschillende vormen van redundantie weer.



Figuur 590 CPU-kaarten en redundantie

Bij een DCS systeem van Yokogawa zijn zowel de CPU-kaarten als de CPU-chips op een kaart dubbel uitgevoerd. De CPU-1 en CPU-2 van een kaart voeren constant dezelfde bewerkingen. Vervolgens wordt gecontroleerd of het resultaat identiek is. Als hier verschillen ontstaan schakelt het systeem automatisch over op de andere CPU-kaart. De

ander kaart staat standby maar voert wel actief alle bewerkingen uit (hot-standby) zodat zonder procesverstoringen kan worden overgeschakelt.

Afhankelijk van de omvang van het proces en de noodzakelijke betrouwbaarheid zijn de systeemcomputers voor databasebeheer en visualisatie ook dubbel uitgevoerd. In **figuur 591** ziet u een voorbeeld van een uitgebreide systeemstructuur waarin verschillende varianten van redundantie van verbindingen, systeemcomputers en CPU's zijn verwerkt. In dit voorbeeld is CPU-B van een andere leverancier dan de overige twee CPU's en heeft ook een ander type signaalverbinding.

De signaaltypen tussen de verschillende onderdelen in het systeem zijn verschillend. Het zijn wel allemaal digitale signalen. De verschillen in signalen zijn afhankelijk van de snelheid waarmee gegevens moeten worden uitgewisseld, de hoeveelheid data, de omvang van de digitale informatiepakketje etc. Op het niveau van I/O uitwisseling naar de CPU is de snelheid, nauwkeurigheid en het aantal signalen dat verwerkt moet worden erg belangrijk. Op dit niveau hebben de leveranciers van procescomputersystemen vaak hun eigen type signaal ontwikkeld.

Het signaal dat van de CPU via een communicatiekaart naar de systeemcomputer voor gegevensbeheer en visualisatie gaat is vaak al meer gestandaardiseerd. Daardoor is uitwisseling met componenten van andere merken systemen beter mogelijk.

Naarmate een signaal meer voldoet aan een standaard afgesproken norm (protocol) is gegevensuitwisseling met andere systemen beter mogelijk. Er wordt dan wel gesproken over een "open systeemstructuur" omdat uitwisseling makkelijker, en meer open is.

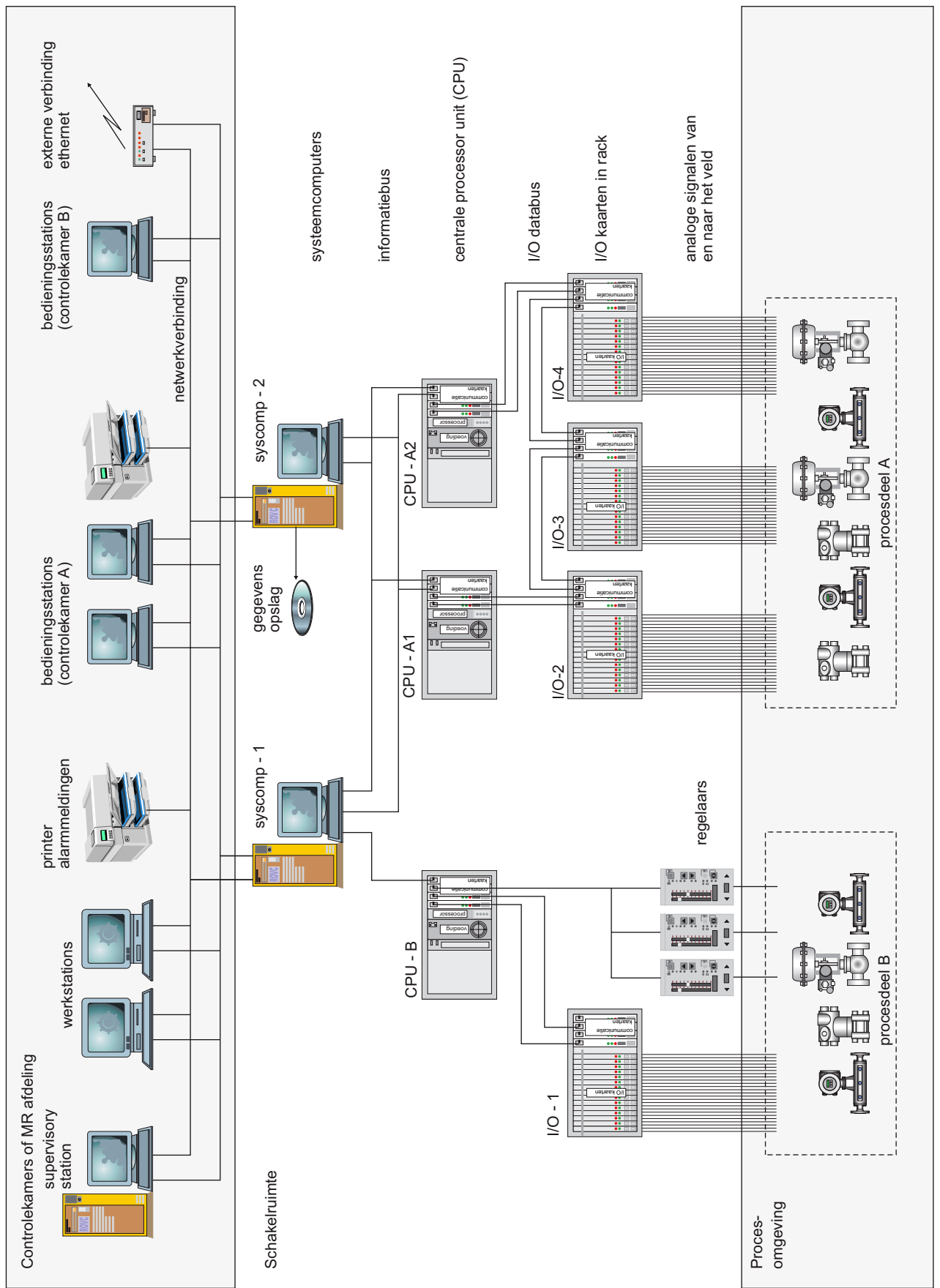
Opgaven

495. Wat is de functie van de "coupler" in **figuur 590**? Wat gebeurt er als een van de "RIO-busverbindingen" uitvalt?
496. Welke drie verschillende communicatiekaarten ziet u in **figuur 590** tussen de opnemer en het V-net?
497. Wat gebeurt er als van een processorkaart in **figuur 590** één CPU defect raakt?
498. Welke componenten en communicatieverbindingen in **figuur 591** zijn redundant uitgevoerd?
499. Wat gebeurt er met de regelingen in procesdeel B van **figuur 591** als de verbinding tussen CPU-B en syscomp-01 wegvalt?

500. Wat gebeurt er met de regelingen in procesdeel B als CPU-B uitvalt?

501. Wat gebeurt er met de regelingen in procesdeel A als CPU-A1 uitvalt?

502. Welke drie verschillende type busverbindingen staan er in het schema van **figuur 591**? Op welke niveau's werken deze in het totale systeem?

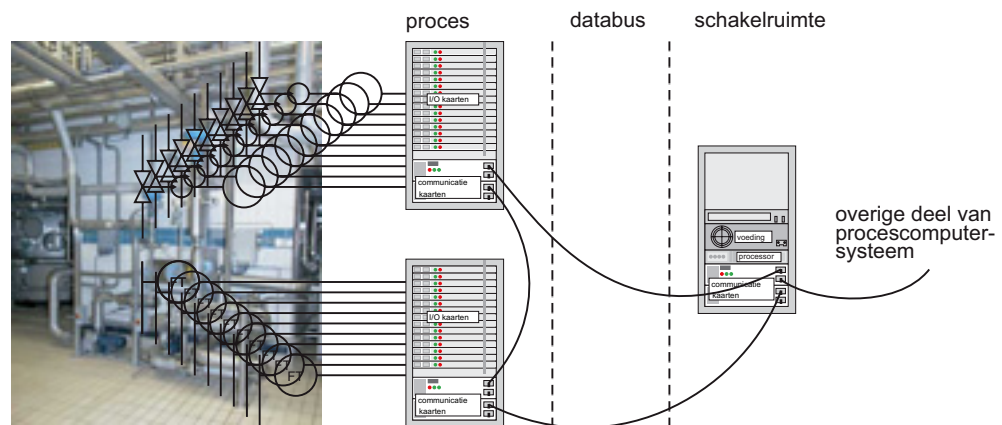


Figuur 591

Stelselstructuur met remote I/O

In **figuur 571** aan het begin van dit hoofdstuk hebben we gezien hoe alle analoge signalen uit het proces uiteindelijk bij de I/O-kaarten van de procescomputer terecht komen. Deze I/O-kaarten zitten in een systeemkast (b.v. 19 inch rack) die in de centrale schakelruimte staat. Deze conventionele structuur van signaalverwerking zult u in de praktijk nog vaak tegenkomen. U zag in de detailfoto van deze I/O-kaarten dat er uiteindelijk maar één kabel naar de centrale processor gaat. Alle signalen die met individuele kabels binnenkomen gaan dus uiteindelijk over één

kabelverbinding ("bus"), eventueel dubbel uitgevoerd, naar de computer zelf. Het is daarom logisch dat er een systeem is ontwikkeld waarbij I/O-kaarten in de omgeving van de instrumenten in het veld verschoven zijn. Vanaf het veld loopt dan maar één kabel naar de centrale schakelruimte. Daar wordt deze kabel aangesloten op de centrale procescomputer. In **figuur 592** ziet u dit schematisch weergegeven.



Figuur 592 Stelselstructuur met remote I/O en databus

Bij dit systeem wordt in de directe omgeving van de instrumenten alle analoge signalen via de I/O-kaarten omgezet naar digitale signalen. Deze signalen gaan via de busverbinding over grotere afstand naar de procescomputer. Dit verklaart ook de naam "remote I/O". Deze I/O-modules zijn niet helemaal gelijk aan de modules die in de conventionele situatie in de schakelruimte gebruikt worden. Het basisprincipe is wel hetzelfde. Soms bevat de remote I/O module een eigen "computertje" (PLC). Er wordt dan wel gezegd dat deze module lokaal wat meer intelligentie heeft omdat hij wat meer taken zelfstandig kan uitvoeren. In **figuur 593** ziet u een voorbeeld van dergelijk remote I/O module in een schakelkast voor ventielbesturingen. Bij deze systeemstructuur hoeft er geen nieuwe procesinstrumentatie in de vorm van opnemers of kleppen te worden geïnstalleerd. Er wordt nog steeds gebruik gemaakt van de bestaande analoge signaalkabels. Deze kabels gaan naar de schakelkasten (junctionboxen) en worden hier aangesloten op de I/O-module.

In de remote I/O-module worden de analoge signalen die als afzonderlijke (parallele) signalen binnenkomen omgezet in digitale (seriële) signalen die via een busverbinding verder gaan. De centrale processor moet echter wel onderscheid kunnen maken tussen signalen van afzonderlijke veldcomponenten. Daarom worden de analoge signalen als afzonderlijke informatiepakketje via de busverbinding naar de centrale processor gestuurd. Elk pakketje krijgt een eigen "afzenderadres" mee van de I/O-module zodat de centrale processor ze weer kan opsplitsen. Deze omzetting gebeurt ook met het omgekeerde signaal, van de centrale processor naar een veldcomponent.



Figuur 593 Junctionbox met ingebouwde I/O module

remote I/O-module met van links naar rechts:

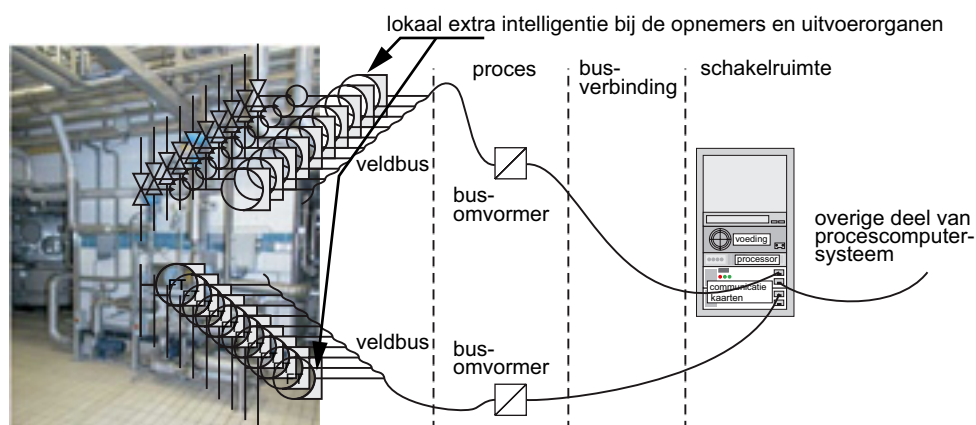
1. voeding
2. communicatiemodule en busverbinding
3. I/O-module met signaaldraden van/naar het veld

Opgaven

- 503.** Wat is het grote voordeel van remote I/O-modules ten opzichte van de conventionele situatie?
- 504.** Zou u de busverbinding naar de CPU enkelvoudig of dubbel uitvoeren?
- 505.** Welk mogelijk nadeel ontstaat als de informatiepakketjes met het transmitter-sigitaal **serieel** over een busverbinding naar de CPU gaan?

Systeemstructuur met digitale veldcomponenten en veldbus

Naast de twee hiervoor beschreven systeemstructuren (analoge signalen en remote I/O) is er nog een derde basisstructuur. Hierbij vervallen de analoge signaalverbindingen van de veldcomponenten. In **figuur 594** ziet u een vereenvoudigde, schematische weergave van een dergelijke systeemstructuur.



Figuur 594 Systeemstructuur met veldbus

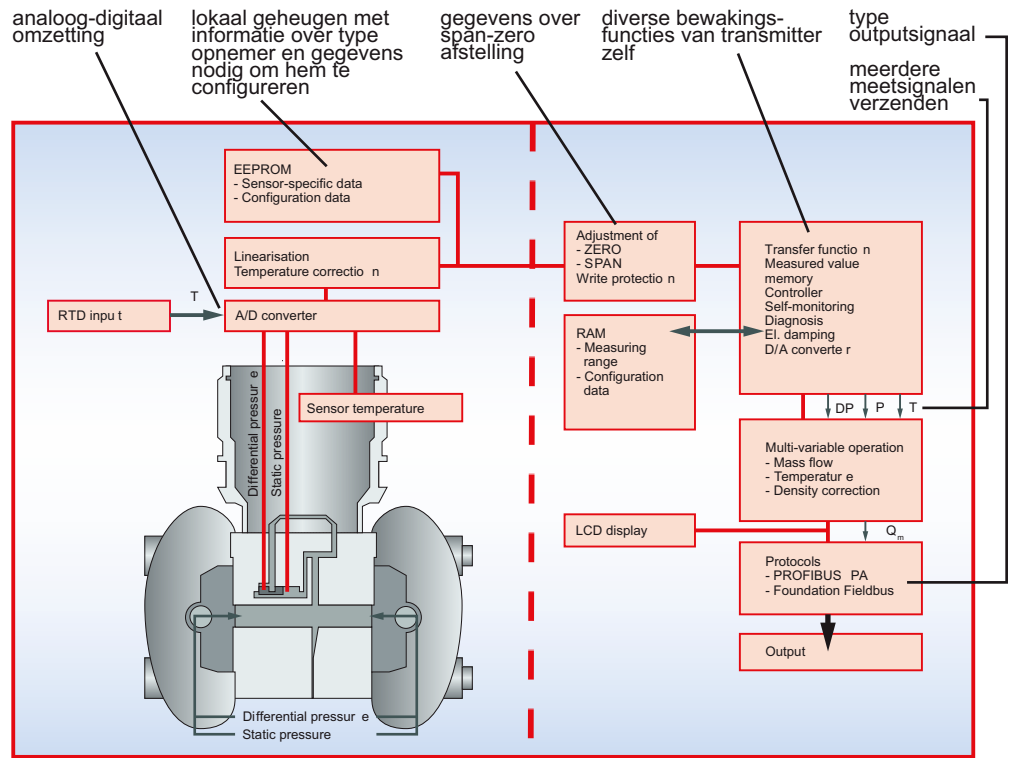
Door de introductie van opnemers en andere veldcomponenten die lokaal het analoge meet-signaal omzetten in een digitaal signaal kunnen deze ook direct aan een digitale communicatieverbinding worden aangesloten. Deze digitale communicatieverbinding wordt "veldbus" genoemd. Het grote voordeel is dat de noodzaak van afzonderlijk kabels van de veldcomponenten naar de I/O-kaarten vervalst. Deze ontwikkeling is nog betrekkelijk nieuw en volop in gang. Met name op het vlak van type (merken) veldbussen, standaardisatie van signalen en betrouwbaarheid ervan. Omdat in bepaalde industrietakken de betrouwbaarheid van het signaal erg belangrijk is, wordt hier nog vaak gekozen voor een systeem met conventionele analoge signalen. Toch neemt de betrouwbaarheid van digitale communicatieverbindingen steeds meer toe en zullen veldbussen ook vaker worden toegepast. Er is een groot scala aan typen/merken veldbussen met eigen protocollen en kabels, specifiek voor een bepaalde toepassing. Twee binnen de meet- en regeltechniek veel toegepaste zijn Profibus en Foundation Fieldbus. Doordat de ontwikkeling steeds meer naar een standaard veldbus-systeem toegaat wordt de uitwisselbaarheid van componenten ook groter.

De veldbuskabel loopt langs de veldcomponenten naar de centrale processor unit. Soms is de veldbuskabel en het signaal in de procesomgeving van een ander type als de busverbinding naar de CPU. Er is dan een

busomvormer (coupler) gemonteerd waar de signalen worden omgezet. Een andere reden is dat de veldbuskabel en de instrumenten in het veld aan de strenge eisen (IP65 en/of explosieveilighedsnormen) moeten voldoen voor een procesomgeving.

De veldcomponenten krijgen lokaal intelligentie (microprocessor) zodat ze het meet-signaal omzetten in een digitaal signaal. Deze transmitters worden daarom ook wel digitale of intelligente transmitters genoemd. In **figuur 594** is dit symbolisch weergegeven door het extra gearceerd blokje. Afhankelijk van de hoeveelheid intelligentie kunnen deze opnemers ook andere functies lokaal uitvoeren.

In **figuur 595** ziet u een blokschema van een digitale transmitter.



Figuur 595 Blokschema van digitale transmitter (+ smart transmitter)

Alle (analoge) meetsignalen worden omgezet in digitale signalen die via dezelfde communicatiebus naar de CPU gaan. Zo kan een flow-transmitter die ook een temperatuurvoeler heeft beide signalen via dezelfde kabel versturen naar de CPU. De opnemer kan ook meer gegevens over alarmgrenzen en overschrijding hiervan opslaan, verwerken en doorgeven aan de CPU. De opnemer kan ook zijn eigen werking bewaken (self monitoring) en meldt eventuele storing via de veldbus. Waar in de conventionele situatie voor alle signalen een aparte kabel nodig is naar de I/O-unit, is er nu één veldbus waarover al deze gegevens worden verstuurd.

Via een veldbus is communicatie in twee richtingen mogelijk. Zo kan er ook een signaal naar een transmitter worden toegestuurd voor het instellen (configureren) van de opnemer, bijvoorbeeld afstelling van de span- of zero-waarde. Wanneer een dergelijke intelligente opnemer aan de veldbus wordt aangesloten, meldt deze zichzelf ook aan bij de procescomputer. Hij gebruikt hiervoor de informatie over zichzelf die is opgeslagen in het lokale geheugen. Vervolgens is het mogelijk deze opnemer te configureren en het signaal te koppelen aan een regelblok. Dit wordt ook wel 'plug and play' genoemd. Hiervoor is wel

een speciaal softwarepakket nodig dat de diverse type opnemers herkent en de juiste functies biedt voor het in bedrijf stellen van deze transmitter. Dit configureren wordt gedaan met het werkstation.

Opgaven

- 506.** Noem drie voordelen van een systeem met intelligente opnemers en een veldbus ten opzichte van een systeem met remote I/O.
- 507.** Wat is het grootste risico van de veldbusverbinding zoals schematisch getekend in **figuur 594**? Hoe is dit risico te onderhouden?
- 508.** Wat kan een voordeel zijn voor de CPU of de I/O-kaarten dat intelligente opnemers een aantal taken lokaal al uitvoeren?
- 509.** Waar in het systeem kunt u informatie over storingen in een intelligente transmitter terugvinden?
- 510.** Zouden er beperkingen zijn aan het aantal veldcomponenten die u aan één busverbinding kunt koppelen? Denk aan de hoeveelheid data die wordt getransporteerd.

511. Welke verschillen zijn er tussen het aansluiten van een digitale opnamer en een opnamer met een analoog uitgangssignaal naar een remote I/O-module?

Systeem-structuren

We hebben onderscheid gemaakt tussen drie verschillende basisstructuren:

- systeem met conventionele analoge signaalverwerking
- systeem met remote I/O signalen
- systeem met intelligente veldcomponenten en veldbusverbinding

In de praktijk kunnen de verschillende systemen door elkaar heen gebruikt worden. Het kan zijn dat ze geheel onafhankelijk van elkaar functioneren, maar ook dat ze geïntegreerd zijn en samen één procescomputer-systeem vormen. Zo kan een ouder deel van een proces nog met conventionele analoge signalen werken en een ander deel via remote I/O-modules. Dit kan vervolgens ook weer worden gecombineerd met een geheel nieuw deelproces waarbij de nieuwste generatie intelligente veldcomponenten is verwerkt en de communicatie via een veldbus verloopt.

In **figuur 596** ziet u een schema met een gecombineerde systeemstructuur. De beperking zit vaak in de onderlinge communicatie tussen systemen en componenten van verschillende merken. Het moet wel mogelijk zijn de signaaltypen om te zetten zodat een component van een andere leverancier het kan lezen.

Opgaven

- 512.** Markeer in **figuur 596** de drie verschillende basisstructuren van signalenverwerking?
- 513.** Aan het einde van de veldbus in **figuur 596** zit een intelligente flowopnemer. U wilt van deze opnemer weten hoe lang hij al in bedrijf is en hoe vaak de bovengrenswaarde van zijn meetbereik is overschreden. Deze gegevens wilt u met een van de bedieningstations ophalen. Geef met kleur in het schema aan via welke communicatie verbindingen deze informatie kan verlopen. Wat is de meest kritische verbinding tussen CPU-A2 en veldbuscontroller?

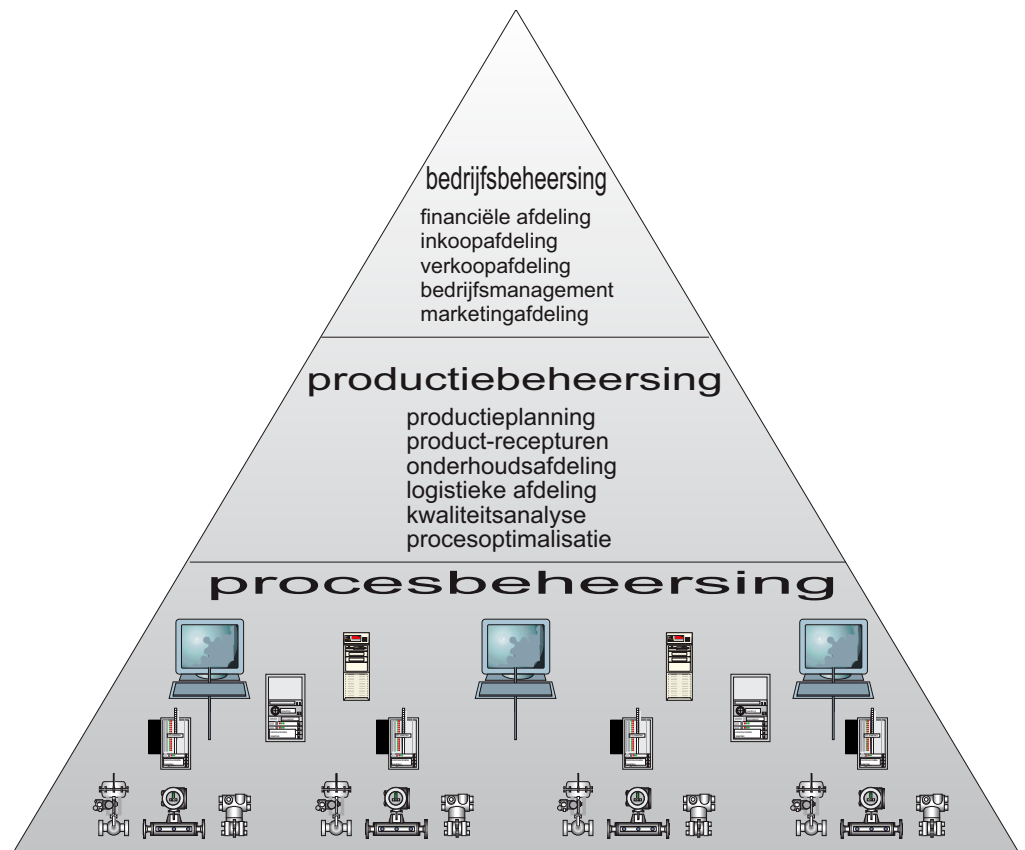
Proces- beheersing als onderdeel van totale bedrijfsau- tomatisering

Tot nu toe hebben we in dit hoofdstuk gekeken naar verschillende systeemstructuren om signalen uit het proces te verwerken tot signalen op een bedieningsstation.

Deze systeemstructuren hebben allemaal nog betrekking op de beheersing (controle) van het proces. De procesgegevens worden via systeemcomputers en netwerkverbindingen verwerkt tot meer gestandaardiseerde informatie in een databases. Deze gegevens uit het proces zijn nu ook beschikbaar voor andere toepassingen dan alleen procesbeheersing.

Het procescomputersysteem kan bijvoorbeeld worden gekoppeld aan het netwerk voor kantoorautomatisering. Een afdeling productieplanning kan de gegevens direct verwerken.

Een afdeling logistiek heeft met gegevens uit het proces over grondstof- en eindproductvoorraad direct inzicht wat er besteld en geleverd kan worden. Een analyse-afdeling kan kwaliteitsgegevens over grondstoffen en eindproducten in het systeem invoeren, en met de gegevens het proces direct bijsturen. Het computernetwerk van deze afdelingen zit in een tweede laag van het model van integrale bedrijfsautomatisering. Dit wordt het "CIM-model" genoemd wat staat voor Computer Integrated Manufacturing. In **figuur 597** staat een schematische weergave van dit model.



Figuur 597 Drie niveau's van integrale automatisering bedrijfsproces

Deze tweede laag wordt de MES (Manufacturing Execution System) laag genoemd. Hier wordt alle informatie over productieplanning, recepturen, voorraden grondstof- eindproduct etc. verwerkt. Dit wordt gedaan met informatie uit de bovenste laag van de pyramide en met gegevens uit de onderste laag. Deze laag koppelt eigenlijk gegevens van- en naar het management met gegevens vanuit het proces.

In de bovenste laag van het model zitten de systemen waarmee het totale bedrijfsproces wordt beheerst en waar het management mee werkt. Hier worden bijvoorbeeld alle gegevens omgezet in financiële resultaten die vervolgens gebruikt worden om het bedrijf op een gezonde manier te besturen. In deze laag wordt gewerkt met software pakketten als ERP (Enterprise Resource Planning), en SAP.

Een voorbeeld uit de energiewereld

De energiemarkt is vrij in Nederland en er zijn meerdere bedrijven die energie aan het net leveren. Afhankelijk van de vraag, de prijs en de concurrentie zal een energieproducent beslissen hoeveel energie tegen welke prijs hij levert. Dit is een keuze in de managementlaag. Vervolgens zal het management van de energieproducent beoordelen welke van de centrales die zijn beheren in staat is het gevraagde vermogen te gaan leveren. Dit kan afhankelijk zijn van de beschikbaarheid, de productiekosten van de verschillende centrales etc. Vervolgens krijgt deze centrale een "setpoint" opgegeven hoeveel vermogen er geleverd moet worden op een bepaald tijdstip. Deze factoren zitten in de tweede laag van de pyramide. Vervolgens wordt dit vermogenssetpoint bij de betreffende centrale omgezet in diverse instellingen en setpoints voor de centrale zelf om het juiste vermogen te leveren. Dit is de onderste laag van procesbeheersing. Alle gegevens van deze centrale (grondstofverbruik, geleverd vermogen, productietijd en stilstand etc.) worden automatisch teruggekoppeld naar de twee bovenliggende lagen waar al deze gegevens worden gebruikt om een financieel bedrijfsresultaat te bepalen.

Bij integrale automatisering is procesautomatisering een onderdeel geworden van de totale automatisering van het bedrijfsproces. Zo kan het voorkomen dat "signalen" uit de bovenste twee systeemplagen van invloed zijn op procesregelingen op het niveau van procesbeheersing.

Een dergelijke ver doorgevoerde, directe koppeling van netwerken is een tendens voor de toekomst. Proces- en productie-automatisering worden geïntegreerd onderdeel van de totale bedrijfsautomatisering.

Opgaven

514. Wat kunnen de gevolgen voor uw werkzaamheden zijn, als er een directe koppeling is van automatiseringssystemen uit de top van de pyramide naar regelaarinstelling in het onderste deel waar procesbeheersing plaatsvindt?

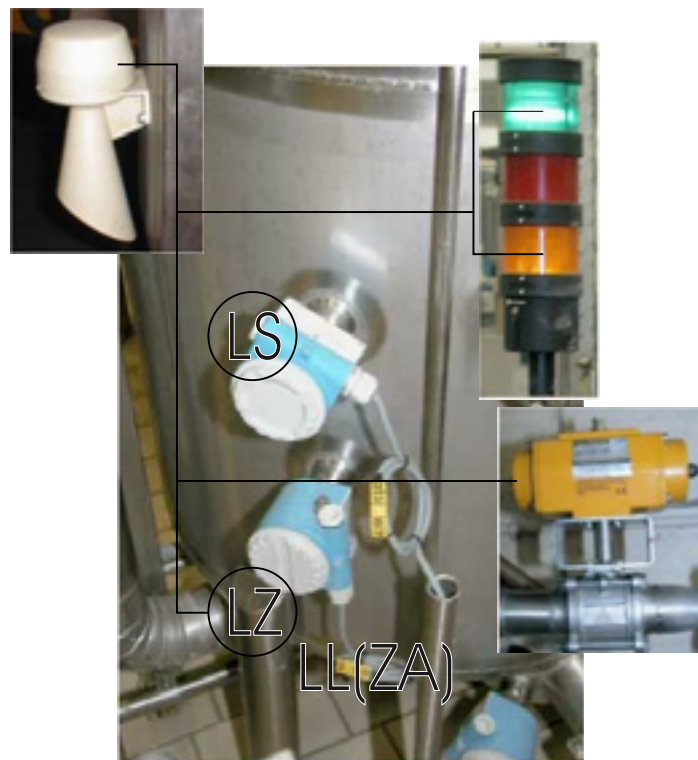
Hoofdstuk 16 Schakelende opnemers voor regelingen en beveiligingen

Inleiding

Een regeling met een niveautransmitter werkt over het totale meetgebied met een veranderlijk meetsignaal (4-20mA). Het signaal van de transmitter wordt door een regelaar in een uitgangssignaal omgezet naar het corrigerend orgaan. Het corrigerend orgaan kan daarmee over het hele meetgebied regelen. Bij deze regelaars kunnen ook alarmgrenzen worden ingesteld voor als de proceswaarde te ver afwijkt van de normale situatie. De regelaar kan ook worden uitgevoerd met schakelende

uitgangen voor alarmgrenzen. Naast deze vorm van analoog regelen kan een regelaar ook binaire uitgangen gebruiken voor bijvoorbeeld een aan/uit-regelingen.

Aan/uit-regelingen kunnen ook worden gemaakt met schakelende opnemers (switches). Deze schakelaars detecteren bijvoorbeeld een hoog of laag niveau. Ze schakelen een elektrisch signaal door waarmee een klep open of dicht gestuurd wordt. Dit zijn "binaire" signalen: wel of geen spanning, nul of één.



Figuur 598 Niveauschakelaars voor regeling en beveiliging

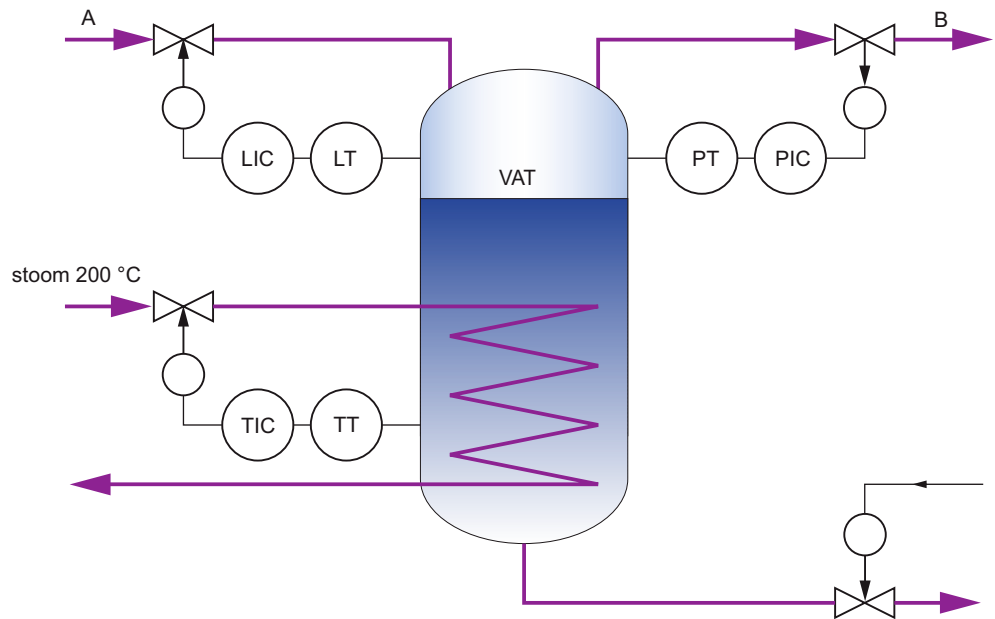
De schakelaars die een te hoge of lage proceswaarde detecteren, worden ook toegepast bij beveiligingen van een proces. Dit in combinatie met een alarmsignaal.

Dit hoofdstuk gaat over schakelende opnemers en procesbeveiligingen. Als voorbeeld gebruiken we een drukvat met verschillende regelingen. In het tweede deel van het hoofdstuk staat een overzicht van schakelende opnemers voor niveau, flow, druk en temperatuur. We bespreken het werkingsprincipe, toepassingsgebied en herkenning van deze componenten. Voor meer technische details moet u de documentatie van leveranciers raadplegen.

Voorbeeld

In het drukvat in **figuur 599** wordt via procesleiding A een vloeistof toegevoerd. De toevoer wordt geregeld aan de hand van het niveau in het vat. Met behulp van een warmtewisselaar wordt de vloeistof verwarmd. De temperatuur wordt geregeld aan de hand van de temperatuur in het vat. Tijdens het opwarmen verdampt een deel van de vloeistof. De damp

wordt afgevoerd via procesleiding B. De afvoer van de damp wordt geregeld aan de hand van de druk in het vat. De afname van de verwarmde vloeistof, het eindproduct, wordt geregeld door een signaal vanuit het volgende deel van de procesinstallatie. Onder normale omstandigheden zal er niet snel iets fout gaan in de drukketel.

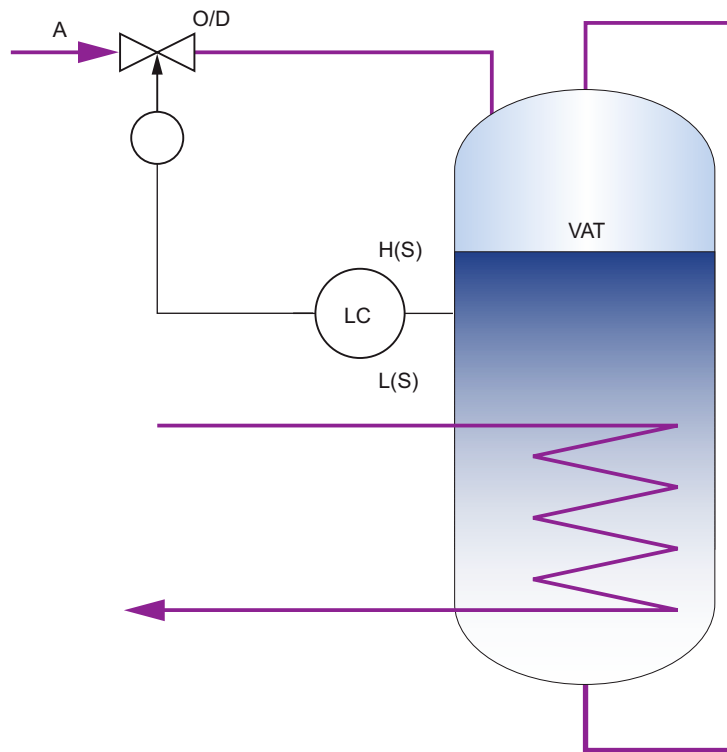


Figuur 599 Drukvat

Schakelende opnemers voor procesregelingen

Zolang het vloeistofniveau boven de verwarmingsspiraal blijft en het vat niet te vol wordt, hoeft het niveau niet exact op een gewenste waarde te worden geregeld. In deze situatie kan de regeling ook worden uitgevoerd met een niveauschakelaar met twee schakelpunten (zie **figuur 600**). In dit schema ziet u dat de regelende functie wordt aangegeven met de letter C in het P&I-symbool. Met de coderingen die naast het bolletjes staan wordt

aangegeven dat de regeling bij een hoog niveau H(S) en bij een laag niveau L(S) schakelt met de toevoerklep. De niveauschakelaar heeft twee schakelcontacten waarmee wel of geen signaal wordt doorgegeven. De toevoerklep kent ook twee standen: open of dicht. Een dergelijke niveauschakelaar kan met maak- of verbreekcontacten werken.



Figuur 600 Niveauregeling met niveauschakelaar

Andere voorbeelden van regelingen met schakelende opnemers zijn:

- wasmachine hoog en laag waterniveau
- compressor met schakelaar op druktank voor hoge en lage druk
- koelmachine waarbij de compressor met een pressostaat in- of uitgeschakeld wordt
- vuilwaterpomp hoog en laag niveau
- temperatuurschakeling bij strijkijzer, wasmachine, ventilator

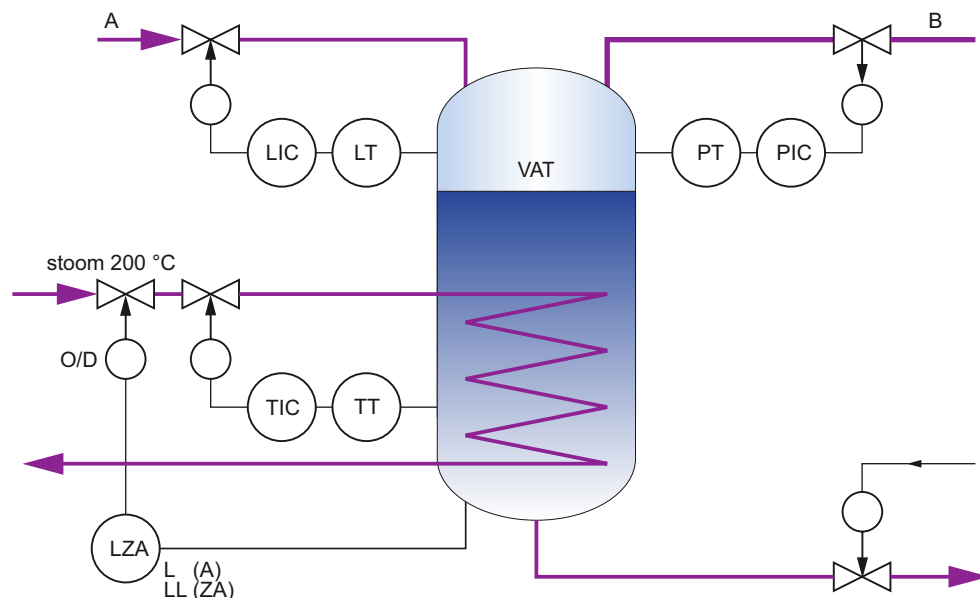
Schakelende opnemers voor procesbeveiligingen

Storingen in de procesvoering of instrumentatie kunnen onveilige situaties opleveren. Dit kan leiden tot risico's en schade voor mensen, apparatuur of het product. Een druk of temperatuur kan te hoog worden; daartegen moet het proces worden beveiligd. Om de betrouwbaarheid te verhogen zijn hiervoor extra opnemers nodig, naast de instrumentatie voor de normale procesregelingen. Hiervoor worden meestal schakelende opnemers toegepast. Ze detecteren alleen sterk afwijkende processituaties. Deze schakelende opnemers zijn eenvoudiger van uitvoering met minder elektronica dan de transmitters voor een analoge regeling. Het signaal dat ze schakelen wordt gebruikt voor een alarm-signaal of directe automatische noodingreep in het proces. Hiermee wordt het proces in een veilige toestand gebracht.

In ons voorbeeld van het drukvat kan een onveilige situatie ontstaan als het vloeistof-niveau onder de stoomspiraal komt te staan. De afvoer is groter dan de toevoer. De spiraal kan droogkoken of stukgaan, met alle gevolgen van dien. **Figuur 601** geeft een oplossing voor dit probleem.

Er is een extra open/dicht-klep in de stoomleiding opgenomen. Wanneer het niveau zeer laag wordt, zal component LZA de stoomtoevoer afsluiten. De letter L in het P&I-symbool geeft aan dat het om niveaudetectie

gaat. De letters Z en A in het symbool geven aan dat het signaal gebruikt wordt voor een noodingreep, gecombineerd met een alarm-signaal. De letters naast het symbool geven aan wat er met het signaal (of signalen bij een opnemer met meerdere schakelpunten) gedaan wordt. De letters L(A) geven aan dat bij een laag niveau (eerste schakelpunt) een alarm gegeven wordt in de vorm van een akoestisch en visueel signaal. Dit is een soort vooralarm; de operator kan zelf nog ingrijpen om het proces veilig te stellen. Als het niveau weer boven dit schakelpunt stijgt zal dit alarm automatisch hersteld (gereset) worden. De alarmsignalering gaat dan uit. Lukt dit niet, dan daalt het niveau verder tot het tweede schakelpunt. De letters LL(ZA) geven aan dat bij een zeer laag niveau (tweede schakelpunt) automatisch een noodingreep volgt. Opnieuw wordt een alarm gegeven. De noodingreep bestaat in dit geval uit een signaal om de open/dicht-klep in de stoomleiding te sluiten. Deze noodingreep (Z-functie) wordt niet automatisch hersteld (gereset). Alleen als het niveau weer hoog genoeg is en daarmee de processituatie veilig is én de bedieningsman het alarm reset, kan het proces worden vervolgd. Dat gebeurt nadat de stoomklep is open gegaan.

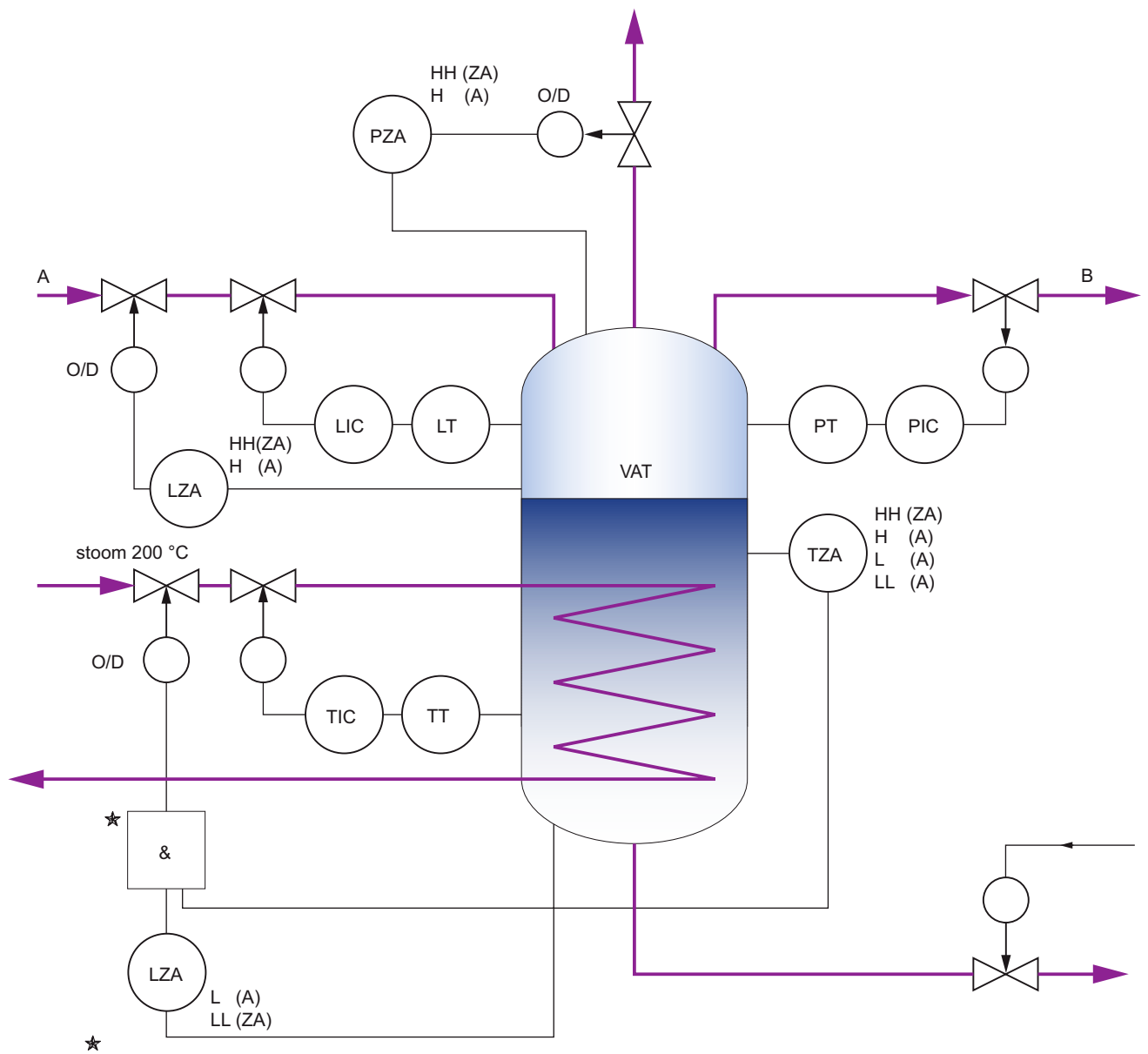


Figuur 601 Beveiliging drukvat

In **figuur 602** is het drukvat uitgebreid met beveiligingen voor andere risicovolle processtoringen.

Opgaven

515. De verbinding tussen de druktransmitter en de drukregelaar raakt onderbroken. De drukregelaar meet een druk van 0 bar. Beschrijf kort wat er dan gebeurt.
516. Wat gebeurt er als de stoomregelklep door een defect geheel open blijft staan?
517. Waarom is de open/dichtklep in de aanvoerleiding van **A** en **stoom** opgenomen?
518. Verklaar wat er gebeurt als het niveau te hoog wordt.
519. Verklaar wat er gebeurt als het niveau te laag wordt.
520. Beschrijf wat er gebeurt als de temperatuur in het vat te hoog wordt.
521. Beschrijf wat er gebeurt als de temperatuur in het vat te laag wordt.
522. In de praktijk wordt op een drukvat meestal een mechanische hogedrukbeveiliging geplaatst. Waarom doet men dat?

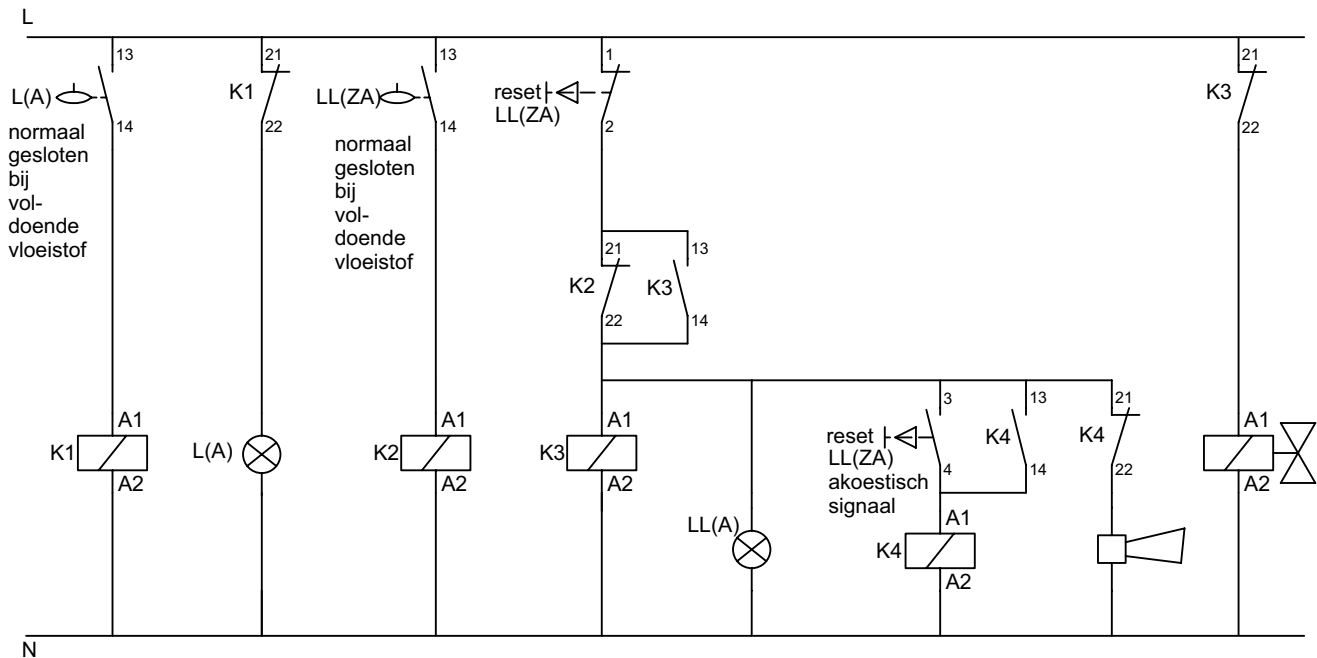


★ Besturingsfunctie. In dit geval een EN- functie. Hierbij geeft de uitgang van de EN-functie een signaal naar de klep af, als er geen alarm is van TZA of LZA.
 Omdat de L- en T-opnemer een verbreekcontact hebben geven ze in normale toestand een signaal af. Bij een storing in het niveau of de temperatuur valt dit signaal weg.
 Het uitgaande signaal van het logische en-blok valt ook weg en daardoor sluit de klep.

Figuur 602

Het is mogelijk dat de LZA voor hoog niveau in het drukvat rechtstreeks de open/dichtklep schakelt. De schakelcontacten van de opnemer moeten dan wel geschikt zijn om het signaal voor de klep te onderbreken. Over het

algemeen zal deze verbinding via een relais-schakeling lopen. In **figuur 603** ziet u een voorbeeld hiervan voor de LZA voor laag niveau.



Figuur 603 Stroomkringschema niveauschakeling

Bij complexe installaties (raffinaderij, chemische procesinstallaties) is er sprake van een veiligheidsbesturing. Hierbij worden meerdere schakelsignalen gecombineerd en kleppen of corrigerende organen automatisch aangestuurd volgens vooraf geprogrammeerde instructies. Voor dergelijke noodstop-programma's (emergency shut down) worden ook speciale veiligheids-PLC's of procescomputers toegepast. Deze systemen functioneren onafhankelijk van de systemen voor de normale procesvoering. Voordat echter een automatische noodingreep plaatsvindt worden er al vooralarmen gegeven via de normale procesregelingen. Bij de regelaars worden hiervoor grenswaarden ingesteld. Bij het overschrijden hiervan volgt een alarmmelding op het bedieningsscherm en een akoestisch signaal. Hierop kan de operator nog zelf ingrijpen.

Opgaven

- 523.** Noem twee redenen waarom voor procesbeveiligingen aparte instrumentatie wordt toegepast; dus naast de instrumentatie voor procesregelingen waarmee ook alarmgrenzen zijn in te stellen.
- 524.** Hoe is in het schema van **figuur 603** de resetfunctie van het LL(ZA) schakeling uitgevoerd?

Proces- beveiliging een vakgebied naast meet- en regeltechniek

Dit hoofdstuk gaat over schakelende opnemers voor regelingen en beveiligingen van processen. Over dit onderwerp is nog veel meer te zeggen, maar dat valt buiten het bestek van deze cursus. Voor deze cursus is het voldoende te weten hoe een noodingreep gerealiseerd wordt, herkenning van deze functie in het P&I-schema en een verkenning van de verschillende types schakelende opnemers.

In de volgende alinea's bespreken we enkele belangrijke onderwerpen waar u mee te maken kunt krijgen als het gaat om procesbeveiligingen (dit valt buiten de examenstof).

Zoals in ons voorbeeld van de drukketel moet je stap voor stap het proces doorlopen om vast te stellen welk gevaarlijke situaties er kunnen optreden. Hierbij is het ook belangrijk om te bepalen hoe groot de gevolgen kunnen zijn voor mensen, procesapparatuur, product, omgeving etc. Ook is belangrijk hoe waarschijnlijk het is dat deze situatie zich voordoet in een bepaalde tijdsperiode. Als de kans echt heel, heel klein is, dan is het een acceptabel risico waar je geen maatregelen tegen hoeft te nemen. Er zijn verschillende technieken om met deze vragen een proces op onveilige situaties te analyseren. Hierbij wordt niet alleen gelet op onveilige processituaties, maar ook wat er gebeuren kan als instrumentatie faalt. Bekende analysetechnieken zijn: "Hazard & Operability study" (HAZOP), "foutboom analyse" of "risk graph".

Na het uitvoeren van deze gevarenanalyse moet worden vastgesteld welke risicoreducerende maatregelen nodig zijn om tot aanvaardbare risico's te komen. Hoe groter het risico (risico= kans X effect) hoe uitgebreider de veiligheidsmaatregelen en instrumentatie. Ook de eisen aan de instrumentatie zijn strenger bij grotere risico's. De apparatuur moet dan soms twee- of drievoudig zijn uitgevoerd om te voorkomen dat het systeem faalt. Denk maar aan boordcomputers van vliegtuigen die drievoudig zijn uitgevoerd. Hier komt al snel "Safety Integrity Level" (SIL) om de hoek kijken, het niveau waaraan een beveiliging moet voldoen. Er zijn 5 klassen oplopend van 0 tot en met 4, op basis van een combinatie van de gemiddelde waarschijnlijkheid dat een fout optreedt én de gemiddelde waarschijnlijkheid dat de beveiliging faalt. Bij SIL 0 zijn er geen eisen aan de fysieke uitvoering van een beveiligings-systeem. Dat betekent dat de instrumentele beveiliging in hetzelfde systeem onderge-

bracht mag worden als de gewone regel-functies. Voor SIL 1 t/m 4 worden de eisen aan de fysieke uitvoering van de instrumenten steeds zwaarder

Deze SIL-indeling geldt niet alleen voor afzonderlijke componenten van een beveiliging, maar voor de totale keten. Een beveiliging is altijd opgebouwd uit: een opnemer, communicatie/signaalverbindingen en interfaces en de nodige hulpenergie en een uitvoerorgaan. Bij de keuze van procesinstrumentatie moet er op gelet worden dat deze voldoet aan de SIL-klasse die geldt voor de procesbeveiliging. Het proces, of delen ervan, wordt als het ware in een bepaalde SIL-klasse ingedeeld en daarmee moeten ook alle maatregelen en hardware componenten de klasse aanduiding hebben. SIL-klasse 2 is de meest gangbare voor procesinstallaties. Al deze veiligheidsmaatregelen en klasse-indelingen komen voort uit internationale en Europese normen. Een algemene internationale norm is de IEC 61508 die weer is uitgewerkt in een specifieke norm voor de procesindustrie de IEC 61511.

Bij het uitwisselen van instrumentatie is het belangrijk erop te letten dat het vervangende instrument ook aan de vereiste veiligheids-klasse voldoet. Dit staat op het typeplaatje naast de andere coderingen zoals ATEX-klasse en CE-markering

In het volgende deel van dit hoofdstuk bespreken we verschillende typen niveau-flow- druk- en temperatuursschakelaars.

Uitvoeringsvormen van niveau schakelaars

Type stemvork of trilstaaf

Werkingsprincipe

Een piëzo-element brengt de sensor in een trilling met resonantie frequentie; als de sensor wordt bedekt, detecteert de sensor een verandering in de amplitude van de trilling. Deze verandering zorgt voor een schakel-sig-naal.

Storingen

Product kleeft aan sensor, stortgoed blijft op sensor liggen, corrosie van de sensor.



Figuur 604 Trilvork niveau detectie

Toepassing

- trilvorkuitvoering voor alle typen vloeistoffen, ook corrosieve of dikvloeibare vloeistoffen, hoog/laagsignalering in vloeistoftanks, temperatuur < 280°C, druk < 64 bar
- speciale trilvorkuitvoering voor poeder en granulaat stortgoed, temperatuur < 150 °C, druk < 16 bar
- trilstaaf voor poeder en stortgoed met lage dichtheden (>0,05 g/cm³)

Montage

Horizontaal, schuin of verticaal aan tankwand of hangend aan kabel, voor laag- en hoog-niveau- detectie, bij stortgoed en horizontale montage een afschermplaat nodig boven de opnemer, hoeft niet te worden gekalibreerd voor het te meten product, verschillende insteekdieptes voor leidingen of tanks.

Type draaivleugel of schoep

Werkingsprincipe

Vleugel of schoep draait langzaam rond, door weerstand die ontstaat bij contact met product draait de motor tegen een schakelcontact aan.



Figuur 605

Toepassing

- Alle soorten stortgoederen met korrelgrootte tot 50 mm, temperatuur < 80 °C, druk < 1,8 bar.

Montage

Horizontaal of verticaal aan tankwand of hangend aan kabel, voor laag of hoog niveau, schoep of vleugel afschermen voor stapeling van product.

Storingen

Schoep los van as, aangroei van product op schoep, brugvorming van product boven op schoep, erg onderhoudsgevoelig.

Type capacitief met elektrodes

Werkingsprincipe

Twee elektroden die samen met de tussenliggende ruimte een condensator vormen; als het medium (diëlektricum) tussen de elektroden verandert, dan verandert hiermee de capaciteit van de condensator en dit wordt omgezet in een schakelsignaal. De verandering in capaciteit is afhankelijk van het verschil in diëlektrische constante van de stof tussen de elektroden. De werking is dus afhankelijk van het type product; werking is hetzelfde als bij een analoge capacitieve niveaumeting.



Figuur 606 Capacitieve niveaudetectie

Toepassing

- Alle soorten vloeistoffen, stortgoed en slurries, relatief goedkoop, temperatuur < 400 °C
- druk < 500 bar

Montage

Horizontaal of verticaal aan tankwand, bij metalen tanks vormt de tankwand de referentie-elektrode.

Storingen

Door aangroeiing, bij stoffen met lage diëlektrische constante, bij hoge luchtvochtigheid.

Type conductief (geleidbaarheid)

Werkingsprincipe

Een elektrode die heel lage wisselspanning afgeeft (<20V) die bij contact met product een gesloten stroomkring vormt met andere elektrode. Als er een stroom gaat lopen wordt dit, via een externe schakelversterker, omgezet in een schakelsignaal. Door het toepassen van meerdere elektroden ontstaan meer schakelpunten



Figuur 607 Conductieve niveaudetectie

Toepassing

Geleidende vloeistoffen of granulaat/poeders, pompsturingen, vulstanddetectie in containers en silo's, goedkoop, temperatuur < 250 °C, druk < 160 bar.

Montage

Horizontaal of verticaal aan tankwand, voor zowel hoog- als laagniveaudetectie, referentie-elektrode nodig als tank niet van metaal is, ook opnemers met elektrodepaar.

Storingen

Aangroei op elektrode die elektrische weerstand vormt.

Type vlotter

Werkingsprincipe

Een vlotter wordt door de vloeistof omhoog gedrukt. Door de verandering in stand (kantelen, draaien) wordt een schakelcontact bediend.



Figuur 608 Vlotter niveaudetectie

Toepassingen

Vloeistoffen, meerdere schakelpunten (2-3) mogelijk voor verschillende standen van de vlotter.

Montage

- horizontaal of verticaal aan tankwand vast, hangend aan kabel
- vast verbonden aan staaf die in tank steekt
- aparte "peilbuis" naast de tank met vlotter en magneetschakelaar

Storingen

Vlotter raakt lek, aangroei van product aan de vlotter waardoor deze te zwaar wordt om te kantelen. Bij type dat aan tankwand vastzit, kan vervuiling het kantelen belemmeren

Type ultrasoon

Werkingsprincipe

Sensor zendt een signaal (ultrasoon) van een bepaalde frequentie uit. De tijd die tussen zenden en ontvangen zit, is een maat voor de afstand en daarmee het niveau. Door een grenswaarde in te stellen voor minimale reflectietijd is een maximaal niveau te detecteren. Bij het overschrijden van de ingestelde grenswaarde wordt een schakelsignaal gegeven.



Figuur 609 Ultrasonische niveaudetectie

Toepassingen

- Vloeistoffen, in beperkte mate stortgoederen, sensor heeft geen contact met product
- temperatuur < 80 °C.

Montage

Alleen aan bovenzijde van tank of vat.

Storingen

Stortgoederen geven slechte reflectie, objecten zoals roerwerken die in de baan van signaal lopen, geen egaal oppervlak door kegelvorming bij stortgoed, schuimvorming.

Overzicht

In **figuur 610** is een overzicht gegeven van alle verschillende type niveauschakelaars.

In deze tabel zijn ook een aantal analoge meetprincipes weergegeven die geschikt zijn voor een continumeting als ook voor een schakelende functie.

Type	Principe	Toepassing	Voordelen	Nadelen	Opmerkingen
capacitief	plotselinge verandering van capaciteit	vloeistoffen met schuim of vaste stof, stortgoederen	robuust, geen bewegende delen, relatief goedkoop	ongevoelig voor stoffen met lage dielektrische constante, verstoring door hoge luchtvochtigheid	met horizontale elektrode heel nauwkeurig
vlotter	vlotter met koppeling naar schakelaar of inwendige schakelaar	vloeistoffen	eenvoudig	gevoelig voor vervuiling en slijtage	verticale en horizontale uitvoering
trivork	piëzo-elektrische resonantie	vloeistoffen, poeders, granulaat	robuust, niet afhankelijk van stofeigenschappen	hoorbare frequentie, vervuiling van opnemer	zeer nauwkeurig, ongevoelig voor schuim
optisch	al of niet reflecteren van licht	vloeistoffen	onafhankelijk van druk, compact, explosie veilig	niet geschikt bij kleverige media	verstoring door omgevingslicht
conductiviteit/geleidbaarheid	plotselinge verandering in geleidbaarheid	niet agressieve, geleidende vloeistoffen en granulaat / poeders	robuust, geen bewegende delen	verstoring door stof- en condensaatvorming, of door aantasting / vervuiling van elektrode	wisselspanning gebruiken tegen elektrolyse
ultrasoon	looptijd van echo	vloeistoffen en granulaat met grove korrels ,tot 80°C	contactloos, onafhankelijk van samenstelling	temperatuur en drukafhankelijk	temperatuurcompensatie nodig, hinder van stoorecho's
microgolven	demping van horizontale golf	vloeistoffen en vaste stoffen	contactloos	duur, niet bij metalen tanks	
microgolven	looptijd / reflectie van vrije of geleide puls	bij vloeistoffen en fijnkorrelige granulaten	contactloos, extreme procesomstandigheden ongevoelig voor stof, aangroei of samenstelling	duur, verschil in dielektrische constante noodzakelijk	
gammastraling	demping van horizontale straling	altijd	contactloos	duur, stralingsgevaar	
draaivleugel	weerstand bij roterend object	stortgoed	onafhankelijk van product	onderhoudsgevoelig, mechanische slijtage	

Figuur 610 Overzicht niveauschakelaars

Uitvoeringsvormen van flowschakelaars

Type calorimetrisch / temperatuur

Werkingsprincipe

Twee temperatuursensoren (RTD) in een opnemerkop: één wordt verwarmd waardoor er een temperatuurverschil is, product stroomt langs beide sensoren waardoor dit temperatuurverschil verandert.



Figuur 611 Temperatuurgevoelige flowdetectie

Toepassing

Vloeistof- en gasstromen. Beveiliging tegen drooglopen van pompen, bewaking van stroming in koelwatercircuits, bewaking van spoeling met reinigingsstof in levensmiddelenindustrie, regeling van koel- en smeersystemen voor pompen, turbines, compressoren en warmtewisselaars.

Montage

Alle punten in de omtrek van leiding, wel afhankelijk van het medium, voldoende insteekdiepte zodat sensor volledig met product omstroomd wordt, bepaalde afstand van appendages en pompen.

Storingen

Aangroei opnemer, onvoldoende insteekdiepte in leiding.

Type peddel of vaan

Werkingsprincipe

Een object (peddelvorm of vaan) hangt in de productstroom en vormt een obstructie. Als er een bepaald stroming is geeft dit een kracht op dit object waardoor deze in de stroomrichting omklapt en een schakelcontact omzet.



Figuur 612 Peddel / vaan flowdetectie

Toepassingen

Vloeistof- en gasstromen. Afmetingen van object bepalen bij welke flow de sensor schakelt.

Montage

Vanaf bovenzijde in de leiding, juiste montage diepte, peddel schakelt via magneetgekoppelde schakeling waardoor er geen direct contact met het product is.

Storingen

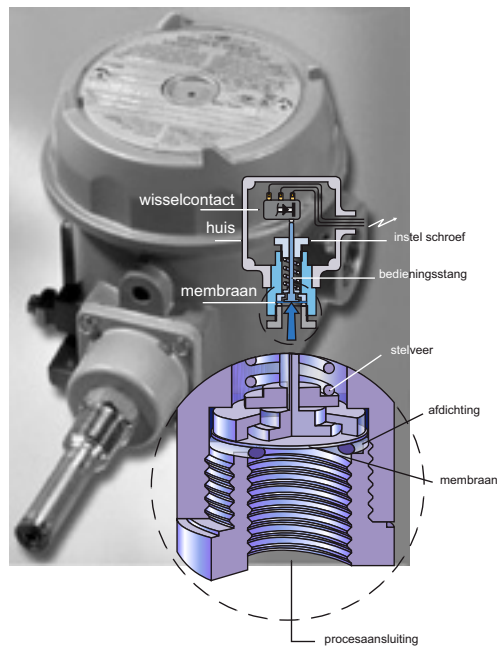
Peddel veert niet meer terug, blijft kleven door verontreinigingen in productstroom.

Uitvoeringsvormen van drukschakelaars

Type balg / membraan (mechanisch / pressostaat)

Werkingsprincipe

De druk in een te meten systeem oefent via een balg/ membraan en een verende mechanische overbrenging een kracht uit op een microschakelaar. Bij het overschrijden van een (in te stellen) druk schakelt deze een contact.



Figuur 613 Membraan / balg drukschakelaar

Toepassing

- Compressor/perslucht-systemen
- pompsystemen, pressostaat bij koelinstallaties

Montage

Diverse schroefverbindingen in leidingen of aan tanks.

Storingen

Verstopping van de aansluiting door vervuiling in het product. Mechanisch defect in de overbrenging.

Type manometer met schakelcontacten

Werkingsprincipe

Standaard bourdon manometer, waarbij de indicator wijzerverdraaiing ook langs verschillende in te stellen contactpunten draait die vervolgens een contact schakelen.



Figuur 614 Manometer met schakelcontacten

Toepassing

Min/max-drukregeling, oliedruk in hydraulische pers, maximum drukbeveiliging persluchtinstallatie.

Montage

Als standaard manometer, extra elektrische aansluitingen voor schakelcontacten.

Storingen

Overbelasting bourdon manometer, verontreinigde contacten.

Type elektronisch

Werkingsprincipe

De druk in het proces wordt via een scheiding-membraan door een sensor elektronisch omgezet in een schakelsignaal. De sensor kan op basis van verschillende principes werken; piëzo element, capacitief.



Figuur 615 Elektronische drukschakelaar

Toepassing

Vloeistof- en gasdruk, snelle drukfluctuaties, vaak twee schakelpunten instelbaar of verschildruk.

Montage

Diverse schroefdraad of flensverbindingen aan tanks of leidingwerk, dit type bevat geen bewegende delen.

Storingen

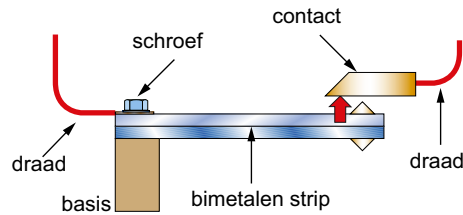
Defecte sensor of scheidingsmembraan door overbelasting (extreme drukpieken), aantasting/aangroei scheidingsmembraan.

Uitvoeringsvormen van temperatuurschakelaars

Type bimetaal schakelaar (mechanisch) thermostaat

Werkingsprincipe

Een bimetaal bestaat uit twee met elkaar verbonden metalen stripjes, de uitzetting bij temperatuurveranderingen is verschillend, bij een temperatuurverandering zal de bimetalen strip kromtrekken en daardoor een schakeling verzorgen.



Figuur 616 Bimetaal temperatuurschakelaar

Toepassingsgebied

Minder kritische temperatuurdetectie, temperatuurbewachung van koel- en verwarmingsinstallaties.

Montage

Ingebouwd in heel verschillende instrumenten en apparaten.

Storingen

Materiaalbreuk, corrosie van contactoppervlak.

Type vloeistofgevulde bulb met capillair

Werkingsprincipe

Voeler (bulb) met capillaire leiding verbonden aan schakelende omvormer. Door uitzetting van de vloeistof zal er in de transmitter (thermostaat) een instelbaar contact schakelen.



Figuur 617 Vloeistofgevulde drukschakelaar

Toepassingsgebied

Temperatuurgebied afhankelijk van vultvloeistof, koel- en verwarmingsinstallaties.

Montage

Voeler aan buitenzijde van leiding of in de leiding.

Storingen

Lekkage van bulb of capillair door verkeerde montage of te grote mechanische belasting, bulb los van de leiding.

Naast deze type "thermostaten" worden ook de Pt-100 en thermokoppel elementen gebruikt in combinatie met een schakelende omvormer of grenswaardeschakelaar.

Index

A			
Aarding	281	Dead Weight Test	223
absolute druk	220	dead zero	69
absolute drukmanometer	208	deelstralingspyrometer	318
Afgeschermd kabel	92	Dichtheid	337
afgeschermd kabels	316	diëlektricum	463
afscherming	95	differentiator	143
afsluiterblok	207	digitaal signaalvorm	52
air to close	367	digitale opnemers	413
air to open	367	digitale transmitter	445
alarmgrenzen	453	DIN	374
Alarmlijsten	437	direct werkende regelaar	17
alarmsignaal	456	Doppler flowmeting	289
analoge elektrische signalen	69	Doseerpomp	403
analoge signaalvorm	51	draaivleugel	463
annubar	266	driedraads	307
Annubar transmitter	268	driedraadsopnemer	308
ANSI	374	Drieweg regelkleppen	387
automatisch	128	drukdozen	345
		Drukeenheden	198
B		drukverschilmanometer	206
balg	468	drukverschilmeting	235
barometer	208	drukverschiltransmitter	218
basisprocescondities	106	Dubbelzittingklep	395
batch-processen	174	dynamische druk	266
bedienend element	364		
Bedienend en corrigerend deel	364	E	
bedieningsschermen	430	E/P omvormers	80
bedieningsstations	418	Elektro-pneumatische omvormer	361
Beschermhulzen	325	elektrische spanning	302
beveiligingen	453	elektrische weerstand	302
bias	111	Elektro magnetische flow-transmitter	278
bimetaal	470	elektro-pneumatische omvormer	376
Bimetaal thermometer	297	emergency shut down	460
binair signaal	53	EMF-transmitter	278
blijvende statische afwijking	106	energiestraling	302
blokschema	19	engineeringstation	424
Bourdonmanometer	201	Enterprise Resource Planning	449
buffervloeistof	341	equiprocentueel	369
C		F	
calorimetrisch	467	feed-back	166
capacitief	212, 235, 463	feedback regelingen	162
Capacitieve meetcel	214	feed-forward	166
Capacitieve niveautransmitter	243	feedforward regelingen	162
cascaderegeling	167	flow	256
cascaderegelingen	162	flowindicatoren	255
CD-rom	107	flowquantity	256
celconstante	343	flowrate	255
Celsius	295	flowtransmitters	255
centraal bedieningspaneel	415	Foundation Fieldbus	444
Centrale Processor Unit (CPU)	423	Frequentieregelaar	401
Centrifugaalpomp	401		
Coaxkabel	92	G	
codeletters	32	Gain	115
communicatiekaart	423	Gammastraling	249
compensatiekabel	316	geleidbaarheid	343
Computer Integrated Manufacturing	449	Geleidbaarheidstransmitter	337
conductief	464	geleiding	324
coriolis	284	gemeten waarde	15
corrigerend orgaan	361	gereset	456
		getwiste kabel	308
D		gevarenanalyse	461
D-actie	143	Gewicht- en kracht-transmitter	337
data-collectie	438	Gewicht- of krachtstransmitters	345
DCS	426	Glazen vloeistofthermometer	299
De equiprocentuele klep	371	Groepsoverzichten	435
De lineaire regelklep	370		

H			
handbediening	128	Membraanregelkleppen	391
Hazard & Operability study	461	micro siemens	343
HAZOP	461	multicore	93
helderheidspyrometer	318	multicorekabel	418
hoog niveau	455	N	
hulpenergie	27	Naaldregelkleppen	390
Hydrostatische niveaumeting	238	natuurkundige grootheid	187
		nauwkeurigheidsklasse	192, 308
I		niveaumetingen	229
I/O-kaarten	421	niveauschakelaar	455
I-actie	135	nominale druk	374
in- en uitgangskaarten	188	nominale maat	374
Indicators	191	noodingreep	456
ingestelde waarde	15	normaal kubieke meter	258
installatieschema	25, 75	normally close	367
Instelregels Ziegler en Nichols	157	normally open	367
Instrumentatie-Diagrammen	20	NTC	304
integrator	135	O	
integratorblok	135	offset	106, 135
IR-pyrometer	318	olievulling	224
I-tijd	138	omgekeerd werkende regelaar	17
		Onderdruk	198
J		open - dicht	369
Jalouziekleppen	394	opnemer/transmitter	16
junctionbox	93, 418		
		P	
K		P&I-codering	41
Kalibreren	211, 321	P&I-D	20
Kelvin	295	P&I-schema	26
Klepkaracteristieken	361, 369	P&I-schema's	20
klepstandsteller	79, 361	P&I-symboliek voor procescomputers	44
Klepvormen	372	peddel	467
Kogelkranen	394	Peilglas	232
koudelas	312	Peillood	249
Kv-coëfficiënt	368	Peilstok	231
kwaliteitsmetingen	337	pH-indicator	340
		pH-transmitter	337
L		pH-waarde	339
laag niveau	455	piëzo-element	212, 462
lettercode	29	pitotbuis	266
lichthoogte	380	Platina	302
lineair	369	PLC	426
lineair uitgangsignaal	267	pneumatisch aangedreven klep	364
live zero	69	Pneumatische regelklep	361, 365
Low Range Value (LRV)	189	proces- en instrumentatieschema	26
Luchtvochtigheid	350	procesbeveiligingen	453
Luchtvochtigheidstransmitter	337	procescapaciteit	119
LZA	456	procescomputersysteem	413
		Proces-Diagrammen	20
M		Processchema	432
Manifold	207	proces technische schema	25
manometers	198	Procesverstoringen	113
Manufacturing Execution System	449	Profibus	444
Massa flowtransmitter	284	programma regelingen	162
Measured Value	110	Programmable Logic Controller	426
meetbalgen	206	Programmaregelingen	174
meetbereik	189	proportionele band (PB)	123
meetflens	270	proportionele regeling	117
Meetfouten	322	protocol	440
meetgebied	189	Pt-100 element	302
Meetinstrumenten	71	PTC	304
meetomvormer	187	Pyrometer	318
Meetprincipes	212	R	
meetschijf	270	radar	235
Meetverhouding	259	Radar niveau transmitter	247
membraan	468		
membraanaandrijvingen	364		

rangeerverdeler	420	transmittervoeding	88
redundant	439	trekdozen	345
referentiekoppel	312	Trendgrafieken	436
referentielas	312	trilstaaf	462
regelaar	16	Turbine-flowtransmitter	275
Regelaarinstellingen	434	turndown	259
regelaarkarakteristiek	121	tweedraads	307
regelklep	18	tweedraadsopnemer	308
rekstrookje	212		
relatieve vochtigheid	350	U	
remote I/O	413, 442	Ultrasone flowtransmitter	282
Responsiesnelheid	329	ultrasonoor	235
Rookgasanalyse	337	Ultrasonore niveautransmitter	245
		ultrasoon	465
S		Upper Range Value (URV)	189
Safety Integrity Level	461		
Sanitaire aansluiting	224	V	
SCADA	426	vaan	467
schakelende opnemers	453	vacuüm	198
scheidingsmembraan	203	Vadometer	261
schoep	463	varkensstaart	224
Schoepenrad	264	veiligheidsbesturing	460
setpointwaarde	110	veldbus	444
signaalomvormer	188	veldbus signalen	413
signaaltransport	49	verdringer	235
SIL	461	verdringerlichaam	235
SIL-klasse	461	vergelijkingsorgaan	16, 110
simulatiesoftware	107	verhoudingsregeling	171
Snelheid/lengtemetingen	348	verhoudingsregelingen	162
Snelheidstransmitter/lengtemeting	337	versterkingsfactor	115
Soortelijke massa	337, 352	vierdraadsopnemer	308
soortelijke massa	236	Viscositeit	337
Span	380	Vlinderkleppen	392
span	189	vloeistofthermometer	300
Spanningssturing	85	vlotter	235, 237, 464
spanningssturing	66	vlotterlichaam	261
Splitrange	361, 382	Vortex-flowtransmitter	276
split-range regeling	173		
split-range regelingen	162	W	
standaardisatie	50	warmteoverdracht	324
static offset	106	Weegband	347
stenvork	462	weerstandsverandering	302
straling	324	werkingsrichting	366
stroming	324	werkstation	424
stroomafwaartse	163	worteltrekken	267
stroomafwaartse regelingen	162		
stroomopwaartse regeling	163	Z	
stroomopwaartse regelingen	162	Zero	380
Stroomsnelheid	255	zerofunctie	189
Stroomsturing	87	Z-functie	456
stuwdruk	266	Ziegler en Nichols	118
switches	453		
T			
tag-code	424		
Tag-codering	41		
Tandrad	264		
temperatuur	467		
Temperatuurmetingen	295		
Thermistors	304		
thermokoppels	311		
thermostaat	470		
thermowell	310		
thermowells	325		
tol	261		
totaalstralingspyrometer	318		
traagheid	322		
transmitter	185		
Transmitters	212		

