

fischertechnik[®] [®]

Pneumatics

Most of the models can be built with Start 100.

A suitable compressed-air source is recommended on page 16.

Pneumatique

La boîte Start 100 permet de construire pratiquement tous les modèles.

L'acquisition d'une bonne source d'air comprimé est vivement conseillée (voir page 16).

Pneumatika

De meeste modellen kunnen met de bouwdoos Start 100 worden gebouwd.

Een adequate luchtverzorging is aan te bevelen (zie ook blz. 16).

Pneumatika



De meeste modellen kunnen met de bouwdoos Start 100 worden gebouwd.

Een adequate luchtverzorging is aan te bevelen (zie ook blz. 16).

Inhoud

Woord vooraf	3	Pneumatische schakelingen		Vorkheftruck	44
Inleiding in de pneumatiek		Besturing van enkelwerkende cilinders	23	Impulsbesturing	46
Wat is pneumatiek	5	Pneumatische koppeling	24	Pneumatische zoemer	48
Toepassing van de pneumatiek	5	Spaninrichting	25	Tijdvertraging	50
Eigenschappen van persluchtinstallaties	5	Logische schakelingen		Snelheidsregeling	54
Absolute druk, overdruk, onderdruk	7	EN-functie	27	Pneumatische tastkop	55
Lucht als energiereservoir	9	Veiligheidsschakeling	28	Luchtmotoren	57
Afstandsbediening	13	OF-functie	29	Pneumatische bagger (voorpagina)	66
Luchthamer	14	Besturing van een dubbelwerkende cilinder	31	Elektropneumatische besturingen	68
Persluchtbronnen	16	Programmabesturing	34	fischertechnik-magneetventiel	69
Persluchtturbine	17	Meerstandencilinder	36	Elektropneumatisch bediende slagboom	70
Komponenten en symbolen		Draai- en rotatiecilinders	38	Elektropneumatische bediende schuifdeur	71
Werkcilinder	18	Draaideur	38	Symbolen	75
Ventielen	19	Opslag van een impuls	39	Stuklijst	76
Leidingen	22				

Woord vooraf

Mechanisering – automatisering – cybernetica – industriële robots – transportsystemen – dat zijn trefwoorden van de moderne produktietechniek die wij allemaal wel eens hebben gehoord. Ook als wij niet rechtstreeks met techniek bemoeien, kennen wij deze uitdrukkingen uit de berichten over industrie en bedrijfsleven in de kranten, in de radio en op de t.v. Wie denkt daarbij dan niet direkt aan computers, mikroprocessoren, geïntegreerde schakelingen en aan al de andere nieuwheden op het gebied van de elektrotechniek en de elektronika. Het lijkt erop, alsof de tegenwoordige techniek en de technologische vooruitgang, waar wij dagelijks mee worden gekonfronteerd, voor een groot deel berust op elektrische en elektronische systemen.

Door de spektakulaire ontwikkelingen op het gebied van de elektronika hebben andere gebieden van de moderne techniek veel minder bekendheid gekregen; bepaalde systemen zijn, behalve bij een kleine groep specialisten, nauwelijks bekend. Dit is o.a. ook van toepassing voor een gebied, dat voor de moderne produktietechniek onmisbaar is, ondanks

dat er helemaal geen elektriciteit bij te pas komt. Wij hebben het over de pneumatika.

Zonder pneumatika is automatisering nagenoeg onmogelijk; het bereikte hoge niveau van de ontwikkeling op het gebied van de automatisering rust voor een belangrijk gedeelte op pneumatische besturings- en regelingsystemen. Desondanks is de pneumatika veel minder bekend en veel minder populair dan de elektronika. De pneumatika is echter in geen geval minder fascinerend en het is zeker de moeite waard om de pneumatika eens wat nader te bestuderen. Tot nu toe bestond er echter helaas geen experimenteel- en lesmateriaal voor weetgierige jonge mensen, voor geïnteresseerde knutselaars of voor hen, die meer technische kennis wilden opdoen. Het beschikbare lesmateriaal was bedoeld voor het beroepsonderwijs en was voor de bovengenoemde doeleinden veel te onhandig en te duur. Met het fischertechnik-pneumatiekstelsel kan nu een ieder die belangstelling heeft op eenvoudige wijze met de geheimen van de pneumatika kennis maken. Met relatief weinig, maar zorgvuldig uitgezochte bouwle-

menten kunnen nagenoeg alle belangrijke pneumatische schakelingen worden gerealiseerd. Deze schakelingen werken echt en kunnen dan ook uitvoerig worden onderzocht. De fischertechnik-pneumatika is geïntegreerd in het bouwdoosstelsel van fischertechnik, zodat u niet slechts pneumatische schakelingen kunt realiseren maar deze ook daadwerkelijk bij de modellen kunt toepassen. Daardoor wordt de werking en de betekenis van bepaalde schakelingen veel duidelijker.

De modellen zijn zodanig uitgezocht dat schakelingen, waarbij zich niet veel beweegt worden toegepast in modellen, die vanwege hun bewegings- of toepassingsmogelijkheden erg interessant zijn, zodat ook zij, die niet zo zeer in de pneumatika zijn geïnteresseerd op een eenvoudige manier funktionerende modellen kunnen bouwen.

Dit boekje bestaat in wezen uit twee delen: In deel 1 worden de *grondbegrippen* van de pneumatika en de verschillende bouwlementen behandeld. Deel 2 is een beschrijving van de belangrijkste *pneu-*

matische schakelingen. Tegelijkertijd maken wij kennis met de symbolen en de schakelschema's. De in dit boekje gebruikte symbolen zijn afgeleid van de reeds bestaande normen, voor een beter begrip zijn zij echter af en toe een beetje vereenvoudigd. De tekeningen en afbeeldingen zijn m.b.v. 2 getallen gekenmerkt: het eerste getal is het nummer en het tweede getal geeft aan, op welke bladzijde de betreffende tekening of foto staat. Afbeelding 2-12 betekent dus afbeelding 2 op bladzijde 12.

In het bijzonder bij de inleidende schakelingen is er voor elke schakeling een schema, een functieschets en een foto van het model. Bij nagenoeg elke schakeling hoort namelijk een model om de toepassing van de schakeling duidelijk te maken. Als iemand van plan is om alleen maar deze modellen te bouwen, zal hij ook daarmee reeds veel plezier beleven. Misschien krijgt hij op die manier belangstelling voor de pneumatika, zodat hij later niet meer bang is voor de schema's.

In dit boekje worden principieel de sinds 1970 wettelijk voorgeschreven eenheden van het SI-systeem gebruikt. Daarbij komt $1 \text{ bar} = 10 \text{ cm}^2$ ongeveer overeen met 1 kp/cm^2 en 1 N ongeveer overeen met $0,1 \text{ kp}$.

De inhoud van deze Pneumatika-doos is voldoende voor de fundamentele experimenten, de belangrijkste schakelingen en de eenvoudige modellen. Omdat er in deze doos echter alleen maar speciale elementen zijn, hebben wij voor het bouwen van de modellen de bouwdoos Start 100 nodig. Het bezit van de bouwdoos Motor + aandrijving en van het netvoedingsapparaat „möt 4” is wenselijk, en voor hen die zich erg grondig met de materie willen bezighouden is de bouwdoos Elektromechanika aan te bevelen.

Voor de proeven en modellen met het magneetventiel hebben wij de aanvullende doos elektromechanika absoluut nodig.

Natuurlijk is er voor het werken met pneumatische installaties perslucht nodig. Met het oog op de hoe-

veelheid lucht zijn de schakelmodellen hier het meest vereisend. Aan deze eisen voldoet de bij Fischer verkrijgbare kleine compressor of de met de hand bediende persluchtpomp met luchtreservoir het beste en elegantste.

Daarnaast levert Fischer de goedkopere en instructieve fischertechnik-modelcompressor, waarvan de capaciteit echter niet voor alle in dit boekje beschreven modellen en schakelingen voldoende is. Daar staat echter tegenover dat men aan de hand van dit model een overzicht over de constructie en werkwijze van een compressor krijgt en men kan er eigen proeven mee nemen.

De modellen die met behulp van de fischertechnik-modelcompressor kunnen werken, worden in dit boekje door het volgende teken gekenmerkt:



Voor pneumatische installaties hebt u natuurlijk perslucht nodig. Daarbij zijn de schakelingen nogal veeleisend. Zij hebben om goed te kunnen werken ongeveer 30 l/min lucht nodig, bij een druk van $0,1$ tot $0,5 \text{ bar}$. De bij Fischer verkrijgbare kleine compressor voldoet, net als de persluchtpomp met luchtreservoir, uitstekend aan deze eisen.

Wie zich dus uitvoerig en langdurig met de pneumatika wil bezighouden moet niet bang zijn om een dergelijk apparaat aan te schaffen. Op bladzijde 16 wordt dit onderwerp uitvoerig behandeld.

Als de persluchtvoorziening in orde is functioneren alle behandelde modellen en schakelingen feilloos en men raakt door de bijzondere werkwijze zeker gefascineerd. U zult bij het experimenteren met de fischertechnik-pneumatika beslist veel plezier beleven terwijl U tegelijkertijd heel veel leert.

Karlheinz Hosëus

Inleiding in de pneumatika

Wat is pneumatika?

Als wij in een encyclopedie het trefwoord „pneumatika” opslaan, dan lezen wij dat het griekse woord „pneuma” zucht, adem betekent. Tegenwoordig noemen wij alles „pneumatisch”, war door perslucht wordt aangedreven. De pneumatika is het gebied van de techniek, dat het gedrag van gassen en in het bijzonder de toepassing van perslucht en zuiglucht onderzoekt. Perslucht kan rechtstreeks voor de aandrijving van apparaten, machines en gereedschappen worden gebruikt of als informatiestroom voor besturingsregelsystemen. In het eerste geval staat de *cilinder* in de voorgrond, die m.b.v. de luchtdruk een bepaalde kracht kan uitoefenen of een bepaalde beweging kan uitvoeren. Hierbij horen ook de persluchtmotoren, waarvan er verschillende varianten bestaan die allemaal roterende bewegingen uitvoeren. In het tweede geval zijn de *ventielen* de belangrijkste bouwelementen. Er bestaan heel veel verschillende ventielsystemen, die allemaal voor besturingen en regelingen kunnen worden gebruikt. Het lit voor de hand om pneumatisch aangedreven machines ook pneumatisch te besturen resp. te regelen, zodat deze twee gebieden vaak nauw met elkaar zijn verbonden.

Toepassingen van de pneumatika

Het is niet mogelijk om in dit boekje alote toepassingen van pneumatische apparatuur op te sommen. Bovendien zijn sommige toepassingen zo ingewikkeld, dat zij eerst heel uitvoerig moeten worden uitgelegd voordat een leek hun kan begrijpen. Wij willen nu slechts enkele toepassingen noemen:

Luchtcilinders worde veelal voor spaninrichtinge gebruikt, om werkstukken gedurende de bewerking vast te houden. Degelijke spaninrichtingen worden bijzonder vaak gebruikt als de produktie ist geautomatiseerd.

Hefbruggen voor de reparatie van auto's of machines werken vaak met luchtcilinders.

Het openen en sluiten van deuren in treinen, bussen en gebouwen gebeurt vaak pneumatisch.

Remsystemen van bedrijfsvoertuigen werken vaak pneumatisch (luchtdrukrem).

Lokomotieven in ondergrondse mijnen en in fabrieken met explosiegevaar worden zonder risico met perslucht aangedreven.

Erg bekend is voorts persluchtgereedschap zoals „luchthamers”, slijpmachines en persluchtschroevendraaiers. Ook de bekende en beruchte boor van de tandarts wordt d.m.v. perslucht aangedreven.

M.b.v. perslucht kan men vloeistoffen verstuiven (spuitpistolen), allerlei grote en kleine voorwerpen transporteren, vloeistoffen hevelen en onderdelen meten. In deze samenhang moeten ook hovercrafts worden genoemd.

Bij de nu genoemde apparaten en systemen wordt met perslucht gewerkt, d.w.z. dat de kracht van *samengeperste* lucht wordt gebruikt. In de nu volgende voorbeelden gaat het om de zuigkracht van *verdunde* lucht. Dergelijke systemen zijn o.a. in motorvoertuigen toegepast, waar de onderdruk in het inlaadspruitstuk van viertakt-motoren wordt gebruikt om het ontstekingsstijdstip te verstellen (dat is dus een besturing). Bij de remservo wordt het vacuum van het inlaadspruitstuk gebruikt om de kracht, die op het rempedaal wordt uitgeoefend, te versterken.

Vacuumsystemen worden voorts gebruikt bij buizenpost, bij het ontladen van graan uit het ruim van een schip en bij talloze andere transportinrichtingen voor goederen.

Dit zijn nu genoeg voorbeelden. De diverse machines in de levensmiddelenindustrie, in de chemische industrie, in de textielindustrie en in drukkerijen (om slechts enkele takken van de industrie te noemen) bie-

den een onuitputtelijke hoeveelheid van toepassingen, die laten blijken hoe belangrijk de betekenis van de pneumatika voor de moderne produktietechniek is.

Eigenschappen van persluchtinstallaties

Perslucht is geen goedkope bron van energie. In tegendeel, om perslucht m.b.v. een kompressor op te wekken hebben wij vrij veel energie nodig, meestal in de vorm van elektrische stroom. Vaak worden kompressoren ook door verbrandingsmotoren aangedreven, maar door het lage rendement wordt de perslucht extra duur. Daaruit volgt, dat lucht die nutteloos door lekkages in de installatie ontsnapt een financieel verlies veroorzaakt. Eén van de belangrijkste eisen van de persluchttechniek is dus, dat er geen lekkages in het systeem mogen zijn. Terwijl de energiekosten voor het opwekken van de perslucht relatief hoog zijn, is de installatie en de apparatuur relatief eenvoudig en goedkoop. Dat begint reeds daarmee, dat de perslucht na gebruik niet via aparte leidingen terug moet worden gebracht. In het algemeen kan de perslucht gewoon in de omgeving worden uitgeblazen. Dat gaat zelfs zover, dat de persluchtlokomotieven in ondergrondse mijnen in tegenstelling tot diesellokomotieven geen luchtvervuiling door schadelijke gassen veroorzaken, maar in tegendeel lucht met zuurstof afstaan! De werkwijze van persluchtinstallaties is gemakkelijk te begrijpen en zuiver mechanisch. Onzichtbare dingen, zoals bij de elektronika, gebeuren niet. De gereedschappen en apparaten zijn licht en toch sterk en veilig, want in tegenstelling tot elektronisch gereedschap ontstaan er hier geen vonken. Persluchtapparatuur is dus bijzonder geschikt voor gebruik in ondergrondse mijnen (mijningsontploffingen!) en in fabrieken met explosiegevaar. Ongelukken door stroom, b.v. door beschadigde isolaties, zijn niet mogelijk. Persluchtapparaten zijn ook daarom zo veilig, omdat men hun niet kan overbelasten. Een bepaalde luchtdruk veroorzaakt in een bepaald apparaat een bepaalde kracht, die niet kan worden over-

schreden als de druk niet stijgt. De onderdelen kunnen niet worden overbelast. Als de weerstand te groot wordt of als iets klem zit, dan blijft de perslucht-aandrijving gewoon staan, om na het opheffen van de storing weer gewoon door te lopen. Lekkages zijn weliswaar duur, maar als er voldoende perslucht ter beschikking staat kan het gehele systeem ondanks lekkages in het algemeen gewoon door werken.

Bovendien kan de lekkage door het geruis van de ontsnappende lucht gemakkelijk worden herkend. Perslucht kan – indien nodig – met bepaalde apparatuur „schoon” worden gemaakt, d.w.z. zonder verontreinigingen door water of olie. Deze perslucht mag dan in de levensmiddelenindustrie en in de farmaceutische industrie worden gebruikt. Indien er een lekkage optreedt, veroorzaakt de uittrekkende lucht geen verontreinigingen van het product (in tegenstelling tot de hydraulica, waar de door lekkages uittrekkende olie de machine verontreinigt en het product onbruikbaar maakt).

Behalve de hoge kosten hebben persluchtinstallaties het nadeel, dat de maximale krachten die men met de cylinders kan opbrengen begrensd zijn. De luchtdruk is meestal 6 bar; daarmee kan men een kracht van ca. 30 kN opbrengen. Indien men grotere krachten nodig heeft, heeft men cylinders met een erg grote diameter nodig. Deze cilinders zijn onhandig en vanwege het hoge luchtverbruik niet economisch. Een hogere luchtdruk is niet aan te bevelen, omdat een drukluchtreservoir dat barst net als bij een explosie uit elkaar scheurt, terwijl bij een scheur in een hydraulische cilinder de vloeistof zonder grote gevaren ontsnapt. Voor hoge drukken zijn dus hydraulische systemen met vloeistoffen beter. Een voorbeeld daarvan is het model op bladzijde 73. Omdat lucht kan worden samengedrukt (compressibiliteit) is het heel moeilijk om bij wisselende krachten bepaalde, wetmatige bewegingen te realiseren (zie meerstandencilinder op blz. 36). De zuigersnelheid hangt af van de luchtdruk en is maximaal 300 m/min. = 5 m/s. Soms is het lawaai dat door de ontluchting van de apparaten en die ventielen ontstaat storend.

Bij onze modellen is het sissen van de perslucht zeker leuk, in de praktijk moeten echter vaak geluiddempers worden geplaatst om het lawaai te verminderen.

Cilinders (spancilinders en hefcilinders), persluchtmotoren, persluchthamers en dergelijke zijn slechts een klein gebied van de pneumatika. Voor de automatisering staan eigenlijk andere pneumatische componenten voor signaaloverbrenging en signaalverwerking in de voorgrond, de zogenaamde logische elementen. Dit gebied van de pneumatika heet „fluidik”. De fluidik is de basis voor besturings- en regelingssystemen die met perslucht werken.

Deze pneumatische logische elementen kunnen net als de in de elektronika bekende dioden, transistoren enz. als schakelaars en versterkers in logische schakelingen worden gebruikt. Dit is voordelig voor industriële toepassingen, omdat daar de perslucht sowieso reeds voor andere doeleinden (persluchtgereedschap etc.) benodigd wordt en dus ter beschikking staat. In dit boekje zullen wij ons uitvoerig met deze besturingstechniek bezighouden.

Net als in de elektrotechnika, waar bouwelementen met bewegende onderdelen (transistoren, thyristoren) kunnen worden vervangen, kunnen de mechanische ventielen van de pneumatika door elementen worden vervangen, die geen of nagenoeg geen bewegende onderdelen bezitten (fluidiks). Deze elementen zijn op het ogenblik de meest moderne ontwikkeling op het gebied van de pneumatische besturing.

Pneumatische en hydraulische systemen kunnen met elkaar worden verbonden. (Remservo bij motorvoertuigen, hydropneumatische vering.)

Ook pneumatische en elektrische besturingen kunnen met elkaar wode gekombineerd, b.v. elektrisch bekrachtigde ventielen (magneetventielen).

Voorbeelden hiervan vindt u op bladzijde 70/71.

Bladzijde 7

Absolute druk, overdruk, onderdruk

Pneumatische installaties werken dus met lucht. Het is echter zo, dat men in de pneumatika met lucht of met een gas op zich niets kan beginnen. Ook als wij over een enorme hoeveelheid lucht zouden beschikken, is deze voor pneumatische doeleinden waardeeloos. De lucht wordt pas waardevol als wij d.m.v. de luchtdruk bepaalde krachten kunnen opbrengen. Het lijkt er dus op, dat de luchtdruk, d.w.z. de druk van de beschikbare lucht, voor de pneumatika belangrijk is. Maar ook de luchtdruk op zich kan geen nuttig werk verrichten, al is de druk nog zo hoog.

In de afb. 1 – 7 tot en met 4 – 7 wordt dit nader uitgelegd:

In afb. 1 – 7 is een cilinder met zuiger en zuigerstang te zien. De zuiger staat in het midden en de twee kamers rechts en links van de zuiger zijn aan een persluchtbron met een druk van b.v. 7 bar aangesloten (1 bar komt ongeveer overeen met 1 kp/cm² van het tot 1970 geldige eenhedenstelsel). Het is logisch, dat de twee krachten die vanuit elke kant op de zuiger werken precies even groot zijn, zodat de zuiger niet beweegt en er ook geen resulterende kracht op de zuigerstang wordt uitgeoefend. En zelfs als wij de druk verhogen zal de zuiger niet bewegen, eerder scheurt de cilinder.

Als men echter overeenkomstig afb. 2 – 7 de druk in de rechter kamer naar 3 bar laat dalen, dan overweegt de kracht op de linkerkant van de zuiger en de zuiger begint naar rechts te bewegen. Daarbij wordt er op de zuigerstang een kracht uitgeoefend die afhangt van de diameter van de zuiger.

Als overeenkomstig afb. 3 – 7 de rechter kamer van de cilinder met de omgevingslucht, die een druk van ca. 1 bar heeft, wordt verbonden, dan worden in vergelijking met afb. 2 – 7 de kracht en de snelheid van de zuigerbeweging groter.

In het voorbeeld in afb. 4–7 is de linkerkant van de zuiger met de omgevingslucht verbonden terwijl rechts een „onderdruk” heerst. Ook in dit geval beweegt de zuiger naar rechts. Omdat de druk van de omgevingslucht gewoonlijk ca. 1 bar is en omdat de onderdruk nooit kleiner kan worden dan 0 bar is in dit geval de kracht, die de zuigerstag kan uitoefenen, beperkt. Bij *zuiginstallaties* is dus, als men een bepaalde kracht wil opbrengen, een grote zuigerdiameter nodig. In afb. 5-8 is het verschil tussen perslucht en zuiglucht duidelijk te zien.

Belangrijk voor pneumatische apparatuur is dus steeds het *drukverschil*, dat uit de verschillende drukken op beide kanten van de zuiger resulteert. Als dit drukverschil groter wordt worden ook de kracht en de snelheid van de zuigerbeweging groter.

Perslucht heeft dus voor de pneumatika slechts dan betekenis als men haar naar een lagere druk kan brengen en daardoor werk kan verrichten.

Zuiginstallaties hebben het nadeel, dat daarbij het drukverschil theoretisch hooguit 1 bar kan zijn, in de praktijk is dit drukverschil zelfs beduidend geringer.

Bladzijde 8

De lucht om onze aardbol heeft, afhankelijk van het weer, een bepaalde druk die ook wel de *atmosferische druk* wordt genoemd en die ca. 1 bar bedraagt. Als wij alle lucht uit een gesloten vat zouden pompen (dit is in de praktijk niet mogelijk), dan is er in dit vat een druk van 0 bar. De compressor van een persluchtinstallatie perst de lucht op b.v. 7 bar samen. Dit zijn allemaal *absolute drukken*, omdat zij aangeven hoe groot een bepaalde druk t.o.v. het vacuüm is.

De cilinder is afb. 3–7 is aan de rechterkant met de omgevingslucht in verbinding, zodat daar dus de atmosferische druk, d.w.z. 1 bar heerst. Dat betekent, dat tegenover de druk van 7 bar aan de linkerkant van de zuiger een druk van 1 bar aan de rechterkant staat. Alleen het drukverschil $7 - 1 = 6$ bar kan op de zuiger een kracht uitoefenen. Deze 6 bar noemt men de *overdruk*.

Dus:

Overdruk = absolute druk – atmosferische druk

$$p_{ov} = p_{abs} - p_{atm}$$

Persluchtinstallaties hebben gewoonlijk een overdruk van 6 bar, zodat de compressor de lucht op een absolute druk van minstens 7 bar moet samenpersen.

Als net als in afb. 4–7 aan de rechterkant van de zuiger een absolute druk heerst die lager is dan de atmosferische druk spreken wij van *onderdruk*. Een absolute druk van 0,4 bar komt dus overeen met een overdruk van $1 - 0,4 = 0,6$ bar. De overdruk kan nooit groter dan 1 bar worden, omdat de absolute druk nooit beneden 0 bar (vacuüm) kan dalen.

Hier geldt dus:

Onderdruk = atmosferische druk – absolute druk

$$p_{on} = p_{atm} - p_{abs}$$

Er ontstaan minder vergissingen als men steeds met de absolute drukken rekent. Dit is voor wetenschappelijke berekeningen sowieso nodig. In de praktijk wordt echter vaak met de begrippen overdruk en onderdruk gewerkt.

Bladzijde 9/10

Lucht als energiereservoir

Iedereen weet, dat men een bepaalde kracht moet uitoefenen om een veer in elkaar te drukken. In afb. 1–9 is een schroefveer te zien. Deze veer kan in elkaar worden gedrukt, totdat de windigen tegen elkaar aan komen. Daarbij neemt de veerkracht F in gelijke mate toe als de veerweg s , totdat bij de maximale veerweg h de maximale veerkracht wordt bereikt. Men zegt ook wel dat de veerkracht *lineair*, d. w. z. evenredig met de veerweg toeneemt.

Wij nemen nu de grote cilinder uit de bouwdoos en trekken de zuigerstang helemaal naar buiten. Daarna

sluiten wij de aansluiting aan de tegenoverliggende kant van de cilinder met een P-stop (afb. 2–9). Nu is dus in de cilinder een hoeveelheid lucht ingesloten. Als wij proberen, de zuigerstang naar binnen te drukken, ondervinden wij een weerstand die steeds groter wordt als wij de zuigerstang verder induwen. Laten wij de zuigerstang los, dan veert zij direkt terug. De ingesloten lucht gedraagt zich werkelijk net als een veer. En net als een veer (b. v. in een klok) is ook de samengeperste lucht in staat om *arbeid* te verrichten; zij bezit *energie!* De arbeid, die wij hebben verricht om de zuigerstang in te drukken blijft als energie in de samengeperste lucht opgeslagen, totdat zij wordt afgestaan als de lucht weer kan ontspannen. Dit is in feite de basis van de pneumatika. M. b. v. een compressor wordt de lucht samengeperst. Daardoor wordt dus energie toegevoerd. Via leidingen en ventielen wordt deze lucht naar de cilinder getransporteerd, waar zij op het gewenste ogenblik arbeid kan uitvoeren.

Bij de „luchtveer” hangt de kracht, die op de zuigerstang wordt uitgeoefend, natuurlijk af van de druk van de ingesloten en samengeperste lucht. Deze kracht neemt echter niet evenredig toe met de weg van de zuigerstang maar, zoals in afb. 3–9 te zien is, veel sterker. Bij langzame bewegingen van de zuiger is de rode lijn van toepassing, bij snelle bewegingen, zoals zijn meestal in de praktijk voorkomen, geldt de stijl zwarte lijn.

Indien men de zuiger helemaal in de cilinder zou schuiven zodat de lucht in een oneindig kleine ruimte zou worden samengeperst, dan zou de druk oneindig groot worden. Om technische redenen kan echter de zuiger niet zo worden gekonstrueerd, dat hij de lucht zodanig kan samenpersen dat het volume nul wordt. Er blijft steeds een kleine hoeveelheid lucht voor de zuiger en in de aansluitpoort.

Daarom en vanwege de onvermijdbare lekkages tussen de zuiger en de cilinderwand kan de druk niet oneindig groot worden. Om beschadigingen van de zuigerpakking te voorkomen willen wij echter niet

proberen om de zuiger helemaal naar zijn eindstand te duwen.

De verende werking van lucht of van andere gassen wordt b. v. voor de vering van voertuigen gebruikt. In afb. 4 – 10 is een model van een voertuig met luchtvering te zien. Door het in de cilinders ingesloten luchtvolume te veranderen kan de hoogte van het voertuig worden ingesteld (niveauregeling).

Bladzijde 11/12

Bij de luchtveer wordt de lucht in dezelfde cilinder samengeperst en ontspand. Bij persluchtinstallaties zijn er voor het samenpersen en ontspannen van de lucht twee cilinders. In afb. 6 – 12 is het principe van een persluchtinstallatie te zien en in afb. 5 - 11 be hijbehorende model.

Tussen de cilinder-60, die de lucht samenperst en de cilinder-45 is er een afsluitventiel met een blauwe stoter.

Als men de zuiger in de cilinder duwt (zover als de klembus-10 dit toelaat) terwijl het ventiel gesloten is, dan wordt de lucht in de cilinder op ongeveer een derde van het oorspronkelijke volume samengeperst. Daardoor stijgt de druk. Als men nu het ventiel opent, kan de lucht uitzetten en daardoor de zuiger van de tweede cilinder verplaatsen.

De gepresteerde arbeid is echter niet erg indrukwekkend. Daarvoor zijn er verschillende redenen: ten eerste mag men niet te lang wachten met het openen van het ventiel, omdat anders de druk ten gevolge van lekkages in de cilinder reeds is gedaald; ten tweede moet de samengeperste lucht na het openen van het ventiel ook de leiding naar de andere cilinder opvullen en daarbij verliest zij al veel druk. Dat is ook de reden, waarom de leidingen steeds zo kort mogelijk moeten worden gemaakt. De klembus-10 mag niet worden vergeten, omdat anders bij een gesloten ventiel de druk te groot kan worden zodat de zuigerpakking beschadigt. Als wij de proef willen herhalen mer-

ken wij, dat het een tweede keer slecht of helemaal niet lukt. Dat komt, omdat bij het terugtrekken van de zuiger geen lucht in de cilinder kan komen: het ventiel is immers dicht. Bij het terugtrekken van de zuigerstang moet dus het ventiel worden geopend. Daardoor wordt ten eerste de zuiger van de werkcilinder net als bij een zuiginstallatie teruggezogen, terwijl tegelijkertijd bij het omschakelen van het ventiel de cilinder heel even met de buitenlucht wordt verbonden en dus met omgevingslucht wordt gevuld.

In afb. 6 - 12 zijn de aparte stappen van de proef nog eens uitvoerig te zien. In de bovenste tekening ziet men den twee cilinders, in beide cilinders heerst er een druk p_0 , dat is dus atmosferische druk. De lucht de perscilinder (rechts) is immers nog niet samengeperst, terwijl de werkcilinder (links) via het ventiel met de omgevingslucht in verbinding staat. Als men nu bij een gesloten ventiel de zuigerstang van de perscilinder indrukt en vasthoudt, dan stijgt de druk in deze cilinder op p_1 . Als nu het ventiel wordt geopend ontspant de lucht en den nieuwe druk p_2 is lager dan de druk p_1 . Daarbij verplaatst de lucht de zuiger van de werkcilinder. De luchtdruk in de perscilinder en de werkcilinder is nu even groot.

De niet erg tevredenstellende werking van onze primitieve persluchtinstallatie wordt blijkbaar hoofdzakelijk daarvoor veroorzaakt, dat onze „compressor” te weinig lucht levert, zodat de druk te snel daalt. Desondanks kunnen wij met een dergelijke eenvoudige installatie nog iets beginnen. Nu laten wij het ventiel gewoon weg. De zuiger van de werkcilinder maakt nu precies dezelfde beweging als de zuiger van de perscilinder. Als er geen kracht op de zuigerstang van de werkcilinder werkt, moet men voor de beweging slechts de wrijving overwinnen. Het luchtvolume, dat uit de perscilinder wordt geduwd, gaat zonder verhoging daar de zuiger. Als de zuigerstang van de werkcilinder is belast, dan moet de zuiger van de perscilinder zover worden ingeduwd totdat de druk zo groot is dat de zuiger van de werkcilinder de nodige kracht kan opbrengen. Daardoor is de afgelegde weg van de perszuiger groter dan die van de

werkzuiger, omdat immers een gedeelte van de weg die de perszuiger heeft afgelegd wordt gebruikt om de luchtdruk te doen stijgen. Als de kracht, die de werkcilinder moet opbrengen te groot wordt, kan het gebeuren dat men de perszuiger helemaal indruwt zonder dat de druk groot genoeg geworden is om de zuiger van de werkcilinder te doen bewegen. Deze laatste proef willen wij echter liever niet doen om niet het gevaar te lopen de zuigerpakkingen te beschadigen.

Bladzijde 13

Afstandsbediening

Deze schakeling kan echter voor de afstandsbediening worden gebruikt, b. v. voor de afstandsbediening van de motor van een filmcamera. In afb. 1 – 13 is dit model schematisch te zien. Wij hebben daarvoor de motor en de batterij uit de bouwdoos „Motor + aandrijving en de drukknop uit de bouwdoos „Elektromechanika” nodig. (De drukknop kan ook los worden gekocht). In afb. 2 – 13 is het model te zien, terwijl afb. 3 – 13 het schakelschema laat zien. De stelcilinder moet door verschuiven van het verbindingsstuk-15 zodanig worden ingesteld, dat de drukknop inschakelt als de zuigerstang van de „handbediende cilinder” wordt ingedrukt en dat de drukknop ook weer uitschakelt als de handbediende cilinder wordt losgelaten en de membraan van de stelcilinder dus wordt ontgelast. De lange verbindingsleiding moet worden aangesloten als de zuigerstang van de handbediende cilinder helemaal buiten is. Omdat de leiding zo lang is hoeven wij de zuigerpakking niet speciaal te beschermen; de zuigerstang kan probleemloos helemaal worden ingedrukt.

Bladzijde 14/15

Luchthammer

Als wij overeenkomstig afb. 1 – 14 twee dubbelwerkende cilinders (zie blsz. 18) met elkaar verbinden, dan kan de zuigerbeweging van de ene cilinder op die

van de andere cilinder worden overgedragen. Dit is het principe van de luchthamer. Omdat lucht dezelfde eigenschappen heeft als een veer is dit dus een verende hamer. Afb. 2 – 14 laat zien, hoe hij in elkaar zit. De werkzuiger (die de lucht samen perst) werdt hier m. b. v. een krukmechanisme door een elektrische motor aangedreven. Daarbij ontstaat telkens boven of onder de werkzuiger een druk die de hamerzuiger naar boven of naar beneden duwt. In werkelijkheid is het i. v. m. de verende eigenschappen van de lucht nog iets ingewikkelder. De hamerzuiger, die met een vaart boven vliegt, perst namelijk de lucht boven de zuiger in elkaar, zodat de lucht, die reeds door de slag van de werkzuiger is samengeperst nog meer wordt samengeperst. Door deze dubbel samengeperste lucht wordt de hamerzuiger met grote kracht naar beneden geduwd. De traagheid van de naar boven vliegende zuiger wordt dus gebruikt om de lucht nog meer same te persen. M. b. v. de ventielen is het ook mogelijk om telkens maar één slag te doen. Deze hamers worden in smederijen gebruikt.

In afb. 3 – 15 is een model van de luchthamer te zien. De werkcilinder is een cilinder-45, terwijl voor de hamercilinder een cilinder-60 wordt gebruikt. Om deze hamer goed te laten werken is het noodzakelijk, dat de verbindingsleidingen tussen de twee cilinders worden aangesloten als de werkzuiger in zijn onderste stand en de hamerzuiger in zijn middenstand staat.

Bladzijde 16

Persluchtbronnen

Tot nu toe hebben wij het zonder een persluchtbron kunnen doen. Vanaf nu hebben wij echter grotere hoeveelheden perslucht nodig. Wij kunnen ons natuurlijk behelpen met persluchtreservoirs zoals fietsbanden of autobanden, maar dit is slechts een noodoplossing omdat de luchtdruk relatief snel daalt als er lucht uit het reservoir wordt ontnomen. Omdat daarbij de modellen slechts korte tijd kunnen werken en omdat wij voor een dergelijk reservoir een speciaal

ventiel nodig hebben voor het oppompen van het reservoir en voor het ontnemen van lucht, willen wij ons met dit systeem niet langer bezighouden.

Een gedeelte van de persluchtmotoren werkt ook tevredenstellend als wij hun aan een in de handel verkrijgbare drukgasfles voor modelbouw-spuitspistolen aansluiten. Ook hierbij hebben wij een eveneens in de handel verkrijgbaar afsluitventiel nodig. Vor de modellen met een hoge luchtkonsumptie is dit i. v. m. de prijs van de drukgasflessen een vrij dure aangelegenheid.

De beste en meest elegante oplossing is daarom de *kleine compressor* van fischertechnik (afb. 1 – 16), die speciaal voor dit doeleinde is gebouwd en waarmee alle schakelingen en modellen gedurende onbepaalde tijd feilloos kunnen werken. Deze compressor levert per minuut ongeveer 35 liter lucht bij een luchtdruk van ca. 0,3 bar. Daarom is een beschadiging van de pneumatische componenten door een te hoge druk uitgesloten.

Een andere en uiterst goedkope persluchtbron is de *persluchtpomp met reservoir* van fischertechnik (afb. 3 – 16). Deze manuele pomp zorgt er onafhankelijk van het stroomnet voor, dat de modellen en schakelingen van perslucht worden voorzien. Daartoe wordt er met behulp van de ingebouwde pomp lucht in het reservoir gepompt totdat een druk van maximaal 3 bar is bereikt. Als de druk groter wordt opent het veiligheidsventiel. De nu beschikbare perslucht wordt m. b. v. een instelbaar reduceerventiel op de benodigde druk gebracht en is voldoende om de modellen ca. 5 min. te laten draaien. Om deze tijd te verlengen kan men tussendoor steeds weer „bijpompen”. Elke persluchtpomp van fischertechnik heeft natuurlijk een gedetailleerde bedieningsaanleiding.

Tenslotte staat als persluchtbron nog de fischertechnik-modelcompressor ter beschikking. Hij wordt in de vorm van een set geleverd; het in elkaar zetten veroorzaakt door de bijgevoegde aanwijzing totaal geen problemen. Konstruktie en werkwijze van een

zuigercompressor en de met de werking daarvan samenhangende vraagstukken worden in de gebruiksaanwijzing eveneens uitvoerig beschreven.

De fischertechnik-modelcompressor wordt door een normale fischertechnik-6 V elektromotor aangedreven. Hij wordt door de gelijkrichter met 4 gevoed. Daardoor bereikt zijn capaciteit natuurlijk die van de fischertechnik-kleincompressor, die aan het net aangesloten wordt niet, hoewel hij eveneens een druk van 0,3 bar levert. Als het model, respectievelijk de schakeling echter teveel lucht verbruikt, kan de modelcompressor geen voldoende druk meer produceren en het model functioneert niet. Modellen en schakelingen die veel lucht verbruiken zijn daarom ongeschikt als de persluchtvoorziening door de modelcompressor geschiedt.

In dit boekje is ieder model, dat op onberispelijke wijze met de modelcompressor kan werken, duidelijk gekenmerkt.



In ieder geval verdient het echter aanbeveling, de met de hand te bedienen ventielen te laten werken door er even met de vinger op te drukken. Gedurende de bediening van het ventiel wordt de persluchtbron namelijk – dat komt door de speciale konstruktie – heel even met de buitenlucht verbonden zodat bij te langzame bediening al te veel lucht onverbruikt ontwijkt en de druk in het reservoir van de compressor sterk daalt.

Bladzijde 17

Persluchturbine

Een ieder van ons is zeker wel eens op min of meer aangename wijze met persluchturbines in aanraking gekomen en wel met de turbineboren bij de tandarts.

De druk van samengeperste lucht is immers, zoals wij reeds hebben ontdekt, een bepaalde vorm van energie. M. b. v. een straalpijp, dat is een vernauwde uitlaatpijp, kan de drukenergie in bewegingsenergie worden omgevormd. De stilstaande lucht krijgt bij het

uitstromen door de straalpijp een over het algemeen van de druk afhankelijke snelheid. Als deze stromende lucht op een stilstaand lichaam „blaast”, wordt de luchtstroom afgeremd. Daarbij verandert de bewegingsenergie weer min of meer in drukenergie. Deze drukenergie oefent een kracht uit op het lichaam, zodat dit begint te bewegen. Als de lucht tegen de schoepen van een turbine blaast (afb. 1 – 17), dan begint deze turbine te draaien. Daarbij ontstaan er over het algemeen uiterst hoge draaisnelheden.

Bij ons turbinemodel (afb. 2 – 17) gebruiken wij een tandwiel Z-40/32 als turbine. De tanden van het tandwiel gedragen zich daarbij als schoepen. De bij de bouwdoos behorende straalpijp wordt zodanig op de tanden van het tandwiel gericht (zie afb. 1 – 17), dat het maximale toerental wordt bereikt. Als wij de perslucht inschakelen horen wij het typische geluid van een turbine die begint te draaien. d. w. z. het toerental wordt steeds groter, tot een bepaald maximum. Als de turbine niet wordt belast (nullast), kan de draaisnelheid maximaal zo groot worden dat de snelheid van één tand, d. w. z. één schoep, zo groot wordt als de snelheid van de uit de straalpijp uittrekkende luchtstraal. Als de turbine een machine moet aandrijven wordt de turbine dus belast en dan zinkt het toerental direkt. Als de belasting te groot wordt, blijft de turbine staan. Daarbij wordt de turbine echter niet beschadigd.

Door de hoge toerentallen van de persluchturbines (120 000 – 350 000 omwentelingen per minuut) is er een reductie-transmissie nodig om bruikbare toerentallen en bruikbare koppels te bereiken. Dit is ook in het model het geval. Vor het slijpen of boren is echter soms een hoog toerental wenselijk, zodat er dan geen transmissie nodig is. In deze gevallen kan de turbine echter niet zwaar worden belast resp. wordt zij bij belasting duidelijk afgeremd.

Het toerental van de turbine kan m. b. v. een in serie aangesloten smoorventiel (P-smoorventiel) worden ingesteld. Omdat een dergelijk ventiel echter ook in

geheel geopende toestand nog een bepaalde smoorwerking heeft, kan men het maximale toerental alleen maar zonder dit ventiel bereiken.

Bij de bouwdoos hoort nog een tweede straalpijp. Het is de moeite waard om dit model om te bouwen tot een turbine met twee straalpijpen. Dit is echter gemakkelijk en de lezer mag zelf uitproberen hoe hij dat het best kan doen.

Door het grote luchtverbruik kan de turbine met de fishertechniek-modelcompressor niet aangedreven worden.

Bladzijde 18

Bouwelementen en symbolen

Nadat wij nu reeds enkele goed werkende modellen hebben gebouwd zonder de elementen van de bouwdoos Pneumatika eigenlijk goed te kennen willen wij ons nu toch nog iets uitvoeriger met deze elementen bezighouden. Om een persluchtinstallatie of een pneumatische besturing op papier te brengen, gebruikt men net als in de elektrotechniek schema's met gestandaardiseerde symbolen, zodat wij niet telkens het hele element moeten tekenen. De symbolen van de pneumatika zijn in de DIN-norm 24 300 resp. de ISO-norm 1219 bepaald. In onze schema's hebben wij in wezen deze symbolen gebruikt en wij zijn daar slechts vanaf gegaan als wij vonden dat dit voor een beter begrip van de functie nodig was.

Werkcilinder

In onze pneumatische bouwdoos zijn er verschillende werkcilinders. Om een cilinder te bepalen zijn twee afmetingen belangrijk, de diameter d en de slag h (afb. 1 – 18). De slag is de weg, die de zuiger in de cilinder kan afleggen.

(Afb. 1 – 18)

Als de diameter d van de cilinder resp. de zuiger bekend is. kunnen wij de kracht F die op de zuiger-

stang werkt berekenen als wij weten hoe groot de druk p is:

$$F = \frac{d^2 \pi}{4} \cdot p$$

Onze cilinders hebben een doorsnede van 13 mm. Als onze perslucht een overdruk van 0,5 bar heeft, dat is 0,05 N/mm², dan kan deze cilinder een kracht van

$$F = \frac{d^2 \pi}{4} \cdot = \frac{13^2 \pi}{4} \cdot 0,05 = 6,6 \text{ N}$$

opbrengen. Een gedeelte van deze kracht wordt echter door de wrijving van de zuigerpakking en de zuigerstang in het cilinderdeksel verbruikt.

Enkelwerkende cilinder

Het symbol voor een enkelwerkende cilinder ziet er als volgt uit:

De enkelwerkende cilinder heeft slechts aan één kant van de zuiger een aansluiting voor perslucht. Dit wordt door het kleine streepje aan de zuigerwand van het symbool aangeduid. Deze cilinder kan dus maar in één richting werken. Het terugbrengen van de zuiger in zijn oorspronkelijke positie moet m. b. v. externe krachten zoals b. v. het gewicht van een voorwerp dat werd opgetild etc. gebeuren. Meestal wordt hiervoor echter een speciale veer gebruikt. Het symbool ziet er dan zo uit:

In onze bouwdoos is er een enkelwerkende cilinder met terugtrekveer en met een slag van 16 mm (zie afb. 2 – 18).

Enkelwerkende cilinders worden vanwege hun gemakkelijke besturing en de geringe luchtconsumptie graag gebruikt. Het terugbrengen van de zuiger gebeurt immers niet pneumatisch maar m. b. v. de terugtrekveer, dus zonder luchtconsumptie. De slag van een dergelijke cilinder kan echter vanwege de ingebouwde veer niet groter worden dan ca. 100 mm.

Dubbelwerkende cilinder

Dit symbool lijkt op dat van de enkelwerkende cilinder, alleen wordt de tweede aansluiting door een tweede streep op de wand van de cilinder aangeduid:

In onze bouwdoos is er een dubbelwerkende cilinder met 16 mm en één met 32 mm slag (cilinder-45, resp. cilinder-60) (afb. 3 – 18): uit het symbool kunnen wij niet opmaken hoe groot de slag is, d. w. z. alle dubbelwerkende cilinders hebben hetzelfde symbool.

Bladzijde 19

De dubbelwerkende cilinder kan in beide richtingen een kracht uitoefenen. Om de zuiger in de oorspronkelijke stand terug te brengen hebben wij dus geen veer nodig. Dit gebeurt pneumatisch, doordat via de tweede aansluiting perslucht op de andere kant van de zuiger drukt. Om de zuiger één keer heen en terug te bewegen is er dus ongeveer twee keer zoveel lucht nodig als bij de enkelwerkende cilinder. De besturing is iets ingewikkelder. Vor de krachten, die door een dubbelwerkende cilinder worden opgebracht, niet in beide richtingen even groot. Aan de kant van de zuigerstang is namelijk het effectief zuiger oppervlak kleiner, zodat de kracht bij de teruggaande slag kleiner is. Alleen cilinders die overeenkomstig afb. 1 – 7 een zuigerstang hebben die aan beide kanten van de cilinder uitsteekt hebben in beide richtingen dezelfde kracht.

Dubbelwerkende cilinders kunnen als enkelwerkende cilinders worden gebruikt, als men slechts één kant van de zuiger met de persluchttoevoer verbindt en als men voor de teruggaande slag van de zuiger externe krachten gebruikt. Het is ook mogelijk om de tweede aansluitpoort te sluiten en de zuiger tegen het ingesloten luchtvolume te laten werken, dat zich dan als een veer gedraagt.

Membraancilinder, stelcilinder

De membraancilinders in onze bouwdoos zijn in principe enkelwerkende cilinders. De membraan wordt

ten gevolge van de druk van de perslucht naar buiten gedrukt. Als de druk daalt gaat de rubberen membraan ten gevolge van haar elasticiteit ook weer terug. Het symbool voor een membraancilinder komt daarom overeen met dat van een enkelwerkende cilinder (afb. 3 – 19). Membraancilinders hebben een erg kleine slag en zij zijn absoluut luchtdicht. Omdat deze membraancilinders niet zo zeer voor het verrichten van arbeid maar meer voor het stellen van ventielen worden gebruikt, noemen wij hen „stelcilinders”. In onze bouwdoos zijn er 4 eenvoudige stelcilinders en 1 dubbele stelcilinder (afb. 4 – 19). Het symbool daarvoor is:

Ventielen

De in de pneumatika gebruikte ventielen zijn meestal besturings-elementen. Er bestaan verschillende soorten ventielen zoals poortventielen, afsluitventielen, reduceerventielen en smoorventielen. Wij hebben hier alleen maar belangstelling voor de *poortventielen* en de *smoorventielen*.

Poortventielen

De benaming van de poortventielen hangt af van het aantal poorten hen het aantal standen. Een gewoon afsluitventiel heeft twee poorten (ingang en uitgang) en twee standen (open, dicht). De afkorting voor een dergelijk ventiel is dus 2-poort/2-standen ventiel. In de symbolen wordt de perslucht aansluiting altijd met P gekenmerkt, de werkleidingen met ABC enz. De ontluftung (dus de verbinding met omgevingslucht) wordt met R gekenmerkt. Stuurleidingen krijgen de letters Z, Y, X, enz.

En ventiel is „normaal gesloten”, als het in de ruststand (niet bekrachtigd) gesloten is en als het perslucht doorlaat zodra het bekrachtigd wordt; het is „normaal open”, als het in de ruststand perslucht doorlaat en na bekrachtiging de luchtstroom afsluit.

De werking van een ventiel kan uit het symbool worden afgeleid. Voor elke stand wordt er een vierkant kastje getekend, voor het 2-poort/2-standen ventiel

bv. overeenkomstig afb. 1 – 20 of 4 – 20. Bij het normaal gesloten ventiel (afb. 2 – 20) zijn, als het ventiel niet is bekrachtigd, de aansluitingen P (perslucht) en A (werkleiding) gesloten. Na de bekrachtiging (afb. 3 – 20) zijn deze twee aansluitingen met elkaar verbonden. Bij het niet bekrachtigde normaal open ventiel (afb. 5 – 20) is het precies omgekeerd. De aansluitingen P en A zijn met elkaar verbonden en de perslucht kan doorstromen. Als dit ventiel wordt bekrachtigd (afb. 6 – 20) worden deze twee aansluitingen gesloten.

Voor de besturing van werkcilinders zij 3-poort/2-standen ventielen handiger, omdat na elke slag van de zuiger de verbruikte lucht moet worden vrijgelaten (ontluftung). Dit gebeurt m. b. v. het 3-poort/2-standen ventiel automatisch. Van binnen ziet dit ventiel er overeenkomstig symbool afb. 7 – 20 (normaal gesloten) en 10 – 20 (normaal open) uit. Dit ventiel heeft drie aansluitpoorten: P voor de perslucht, A voor de werkleiding en R voor de ontluftung. In onze Pneumatika-bouwdoos hebben wij drie normaal gesloten 3-poorten/2-standen ventielen en 1 normaal open 3-poort/2-standen ventiel. Het normaal gesloten ventiel heeft een blauwe stoter, het normaal open ventiel heeft een rode stoter.

2-poort/2-standen ventiel
(normaal gesloten)
niet bekrachtigd
bekrachtigd

2-poort/2-standen ventiel
(normaal open)
niet bekrachtigd
bekrachtigd

3-poort/2-standen ventiel
(normaal gesloten)
niet bekrachtigd
bekrachtigd

3-poort/2-standen ventiel
(normaal open)
niet bekrachtigd
bekrachtigd

Het symbool en de tekening in afb. 8 – 20 laten een normaal gesloten ventiel zien, dat niet is bekrachtigd. De perslucht toevoer is gesloten. De werkleidingen staan met de ontluftung in verbinding. Als dit ventiel wordt bekrachtigd (afb. 9 – 20), dan wordt de persluchttoevoer met de werkleiding verbonden en de ontluftung wordt gesloten. In afb. 11 – 20 en 12 – 20 kan men hetzelfde zien voor een normaal open ventiel. In dit geval zijn de persluchttoevoer en de werkleiding met elkaar verbonden als het ventiel niet is bekrachtigd, terwijl de ontluftung is gesloten. Als dit ventiel wordt bekrachtigd wordt de persluchttoevoer onderbroken en de werkleiding wordt met de ontluftung verbonden. Als men een 2-poort/2-standen ventiel voor de besturing van een cilinder zou gebruiken, dan zou, nadat het ventiel is gesloten, de zuiger niet tot rust komen omdat de in de cilinder aanwezige perslucht immers nog uitzet. Daarom moet de zuiger altijd naar de eindstand worden gebracht of de cilinder moet na het uitschakelen van de perslucht met de omgevingslucht worden verbonden. En precies dat doet het 3-poorten/2-standen ventiel. Als men b. v. een enkelwerkende cilinder met terugbrenging d. m. v. een mechanische veer met behulp van een 2-poort/2-standen ventiel wil besturen, dan kan de zuiger na het afsluiten van de perslucht niet teruggaan, omdat er immers nog perslucht in de cilinder is, die eerst moet worden vrijgelaten. Dit bereikt men met het 3-poort/2-standen ventiel. Een dergelijk ventiel kan overal worden gebruikt en het heeft o.a. dezelfde functies als een 2-poort/2-standen ventiel. Daarom hebben wij in onze bouwdoos geen 2-poort/2-standen ventielen.

Onze 3-poort/2-standen ventielen gedragen zich als „druknoppen”. Na het indrukken gaan zij automatisch weer in de uitgangspositie terug. Dit wordt in het symbool m. b. v. een schematisch getekende veer aangeduid. De bediening kan rechtstreeks of m. b. v. een stoter gebeuren. Wij kunnen echter ook de hier afgebeelde rolarm gebruiken.

Deze rolarm kan op drie verschillende manieren aan het ventiel worden bevestigd. Omdat de rolarm elastisch is, hoeft het ventiel niet zo nauwkeurig worden ingesteld.

De persluchtaansluiting is bij al onze ventielen aan de kant tegenover de stoter. De ontluftung heeft geen aparte aansluitpoort.

Voor de besturing van dubbelwerkende cilinders is een 4-poort/2-standen ventiel erg handig. Dit ventiel heeft vier aansluitingen, te weten de persluchttoevoer P, de ontluftung R en de twee werkleidingen A en B (afb. 13 – 21). Als dit ventiel niet wordt bediend (afb. 13 – 21) is de perslucht toevoer met de aansluiting B verbonden de aansluiting A wordt ontluftung. Als het ventiel wordt bediend wordt de aansluiting A met de persluchttoevoer verbonden en de aansluiting B wordt ontluftung (afb. 14 – 21). Zoals afb. 15 – 21 en 16 – 21 laten zien, kan een 4-poort/2-standen ventiel door twee 3-poort/2-standen ventielen, en wel één normaal gesloten ventiel die tegelijkertijd moeten worden bediend, worden vervangen. Daarom hebben wij in onze bouwdoos geen 4-poort/2-standen ventiel.

Bladzijde 22

Smoorventiel

Smoorventielen beïnvloeden de hoeveelheid lucht die doorstroomt. Zij zijn in wezen een vernauwing van de luchtleiding. In onze bouwdoos hebben wij een P-smoorventiel met stelschroef. Afb. 7 – 22 laat zien hoe dit ventiel er van binnen uit ziet. Het symbool voor dit ventiel is in afb. 18 – 22 te zien.

Leidingen

In onze Pneumatika-bouwdoos hebben wij 3 m kunststofslang met een inwendige diameter van 2 mm. Deze slang wordt op de *nippels* van de componenten (ventielen, cilinders, enz.) geschoven. Deze slang mag nergens worden geknikt, omdat een dergelijke knik als smoorventiel werkt of de luchtstroom zelfs geheel afsluit. Nieuwe slangen mogen niet te hard op de nippels worden gedrukt, omdat zij anders moeilijk

te verwijderen zijn. Bij het verwijderen niet aan de slang trekken; de slang kan beter met de vingernagels van de nippels worden afgeduwd. Luchtsslange kunnen, als dat nodig is, worden bijbesteld.

De aansluiting aan de persluchtbron gebeurt m. b. v. de P-verdeler, die m. b. v. de korte slang met grotere inwendige diameter met de uitlaatpijp van de compressor of een andere persluchtbron kan worden verbonden. Deze P-verdeler heeft acht nippels. De niet benodigde nippels sluiten wij met de P-stop (afb. 19 – 22) om luchtverliezen te vermijden. Dit geldt ook voor de T-stukken, die wij, als één nippel wordt dichtgemaakt met de P-stop ook voor het verbinden van twee slangen kunnen gebruiken. De P-verdeler en de T-stukken kunnen met hun pennen aan de fischertechniek-bouwstenen en op de fischertechniek-basisplaten worden bevestigd.

Voor de aansluiting van de fischertechniek-modelcompressor is de P-verdeler niet noodzakelijk. De aansluiting kan op eenvoudige wijze door middel van de T-stukken geschieden.

Bladzijde 23

Pneumatische schakelingen

Besturing van enkelwerkende cilinders

Wij beginnen nu met ons eerste pneumatische probleem: de besturing van een enkelwerkende cilinder. Hiervoor hebben wij het normaal gesloten 3-poort/2-standen ventiel nodig. In afb. 1 – 23 is het schema te zien. Het model is in afb. 2 – 23 te zien en de werkwijze van het geheel wordt m. b. v. afb. 3 – 32 resp. 4 – 23 duidelijk.

Als het ventiel niet wordt bediend (afb. 3 – 23) is de persluchttoevoer P onderbroken en de cilinder is via de leiding A met de ontluftung R verbonden. Als het ventiel wordt bediend (afb. 4 – 23), dan stroomt perslucht naar de cilinder en de zuiger (resp. het membraan van de stelcilinder) wordt verschoven. Als men

nu de rolarm van het ventiel weer loslaat wordt de persluchttoevoer weer onderbroken en de werkcilinder wordt weer met de ontluchting verbonden. Daardoor kan de veer de zuiger weer in de oorspronkelijke stand terugduwen. Bij de stelcilinder gebeurt dit niet door en veer maar door de elasticiteit van het rubberen membraan.

Bladzijde 24

Pneumatische koppeling

Een toepassing van deze schakeling is de in afb. 5 – 24 afgebeelde *pneumatische koppeling*. Als het ventiel wordt geopend verschuift de zuigerstang m. b. v. het koppelingsstuk-2 de aandrijfjas (as-11) en daardoor worden de als koppelingsplaten werkende banden-45 uit elkaar getrokken. M. b. v. het P-smoorventiel kan men de beweging van de zuigerstang langzamer maken, zodat men soepel kan koppelen en ont-koppelen. (Op blz. 54 staat meer over de besturing van de snelheid van de zuiger.) Dergelijke pneumatische koppelingen werden tot voor kort in semiautomatische transmissiebakken van motorvoertuigen toegepast. Zij werken echter i. p. v. met overdruk met onderdruk.

Bladzijde 25/26

Spaninrichting

In afb. 5 – 26 wordt een enkelwerkende cilinder m. b. v. een normaal open 3-poort/2-standen ventiel bestuurd. De cilinder staat dus aldoor onder druk en de zuigerstang oefent dus aldoor een bepaalde kracht uit. Dergelijke besturingen worden veelal voor spaninrichtingen gebruikt, die alleen maar moeten worden ontlast als het werkstuk wordt uitgewisseld.

In afb. 7 – 26 is het model van een dergelijke spaninrichting te zien. Wij gaan ervan uit, dat het gat van de werkstukken (bouwsteen-30 met boring) moet worden bijgewerkt. Als gereedschap gebruiken wij een

symbolische pen, die in een koppeling vastzit en die pneumatisch naar beneden wordt geduwd. Dit gebeurt m. b. v. de cilinder-45 met terugbrengveer. Het werkstuk wordt door twee membraancilinders (stelcilinders) en door een aanslag in de juiste stand gefixeerd, zodat het gereedschap, nadat het één keer is ingesteld, steeds weer precies in de gaten terecht komt. De membraancilinders zijn vanwege hun geringe slag uiterst geschikt voor dit doel omdat zij slechts weinig plaats nodig hebben.

De bediening van de cilinder met het gereedschap gebeurt overeenkomstig de schakeling voor de enkelwerkende cilinder (afb. 1 – 23) d. m. v. een normaal gesloten 3-poort/2-standen ventiel. De spaninrichting laat alleen los als dit ventiel wordt bediend. Als het ventiel niet wordt bediend zit het werkstuk dus vast. De twee stelcilinders worden door een normaal open 3-poort/2-standen ventiel overeenkomstig schema 6 – 25 bestuurd. De lezer mag nu zelf proberen om m. b. v. de symbolen het schema van de hele installatie te tekenen. Da oplossing vindt u op bladzijde 68. Zoals men kan zien wordt er bij het tekenen van de schema's over het algemeen niet op de stand van de zuiger in de cilinder gelet.

Bladzijde 27

Logische schakelingen

De nu volgende schakelingen geven een overzicht over de mogelijkheden van de pneumatische logika.

EN-funktie

Er wordt geëist, dat de cilinder slechts dan van perslucht wordt voorzien als beide ventielen I en II worden bediend. Voor „ventiel wordt bediend” gebruiken wij het teken „1” en voor „ventiel wordt niet bediend” het teken „0”. Net zo is het bij de cilinder: „1” betekent „cilinder wordt van perslucht voorzien” en „0” betekent „cilinder staat met de ontluchting in verbinding”. Wij hebben nu de volgende combinatiemogelijkheden.

Ventiel I	Ventiel II	Cilinder
0	0	0
1	0	0
0	1	0
1	1	1

Uit de tabel kan worden afgeleid, dat de cilinder slechts dan van perslucht wordt voorzien als ventiel I EN ventiel II worden bediend. In al de andere gevallen, dus als slechts één ventiel of als geen enkel ventiel wordt bediend is de cilinder met de ontluchting verbonden. Dit schema is een zogenaamde *funktietabel* van de EN-funktie.

In afb. 8 – 27 is het schema te zien terwijl afb. 9 – 27 het model laat zien van een schakeling, die aan deze eisen voldoet. Dergelijke schakelingen vindt men b. v. om veiligheidsredenen bij grote persen. Bij deze persen moet het onmogelijk zijn dat de bedienpersoon nog een hand in de pers heeft terwijl de pers wordt bediend. Daarom worden twee drukknoppen zodanig aan de machine bevestigd dat zij buiten het gevaarlijke bereik van de pers liggen. Deze drukknoppen zijn zo geschakeld dat zij met beide handen tegelijkertijd moeten worden ingedrukt. En hier komt nu de EN-funktie tot toepassing: Alleen als beide drukknoppen tegelijkertijd gedrukt worden wordt de machine ingeschakeld. Het model (afb. 10 – 28) is van een dergelijke veiligheidsschakeling voorzien.

Bladzijde 28

Veiligheitsschakeling voor een pers

Bladzijde 29

OF-funktie

In dit geval moet de werkcilinder van perslucht wor-

den voorzien als tenminste één ventiel wordt bediend, d. w. z. ventiel I OF ventiel II OF allebei! Daardoor is het b. v. mogelijk, om één cilinder vanuit verschillende plaatsen te besturen. Dergelijke schakelingen worden vaak in de elektrotechniek gebruikt en kunnen daar gemakkelijk worden gerealiseerd. (afb. 11 – 29). Als een lamp vanuit verschillende plaatsen moet kunnen worden ingeschakeld, kan dit zonder meer door de schakelaars I en II gebeuren. Als er nog een plaats bijkomt kan zonder meer een additionele schakelaar III worden geïnstalleerd.

Afb. 12 – 29 laat zien, dat dit bij pneumatische schakelingen met 3-poort/2-standen ventielen niet zo gemakkelijk is, omdat de cilinder immers via het niet bediende ventiel met de omgevingslucht in verbinding staat. Als men b. v. ventiel I bedient, dan stroomt de perslucht via de aansluiting R van het ventiel II naar buiten en omgekeerd. M. b. v. een wisselventiel kan dit probleem worden opgelost (afb. 13 – 29). De konstruktie van een wisselventiel en hegt bijbehorende symbool zijn in afb. 14 – 29 te zien. De kogel sluit d. m. v. de perslucht de op dat moment niet benodigde leiding.

Bladzijde 30

In afb. 15 – 30 kunnen wij zien, hoe wij een dergelijke schakeling zonder wisselventiel kunnen realiseren.

Elk van de 3-poort/2-standen ventielen voorziet een stelcilinder van perslucht. Deze stelcilinders bedienen op hun beurt via het 3-poort/2-standen ventiel de cilinder. Hoe een dergelijke schakeling kan worden opgebouwd is in afb. 16 – 30 te zien.

Als deze schakeling met korte tussenpozen vaak gebruikt wordt, treedt er bij gebruik van de fischertechnik-modelcompressor een groot drukverlies op.

De funktietabel van de OF-functie ziet er als volgt uit:

Ventiel I	Ventiel II	Cilinder
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	1

Bladzijde 31

Besturingen van dubbelwerkende cilinders

De besturing van een dubbelwerkende cilinder is in afb. 2 – 31 te zien. In afb. 1 – 31 is het bijbehorende schema te zien en in afb. 3 – 31 het model.

Door elk van de twee ventielen wordt één kant van de zuiger van perslucht voorzien, zodat de zuiger in de gewenste richting beweegt. Als geen van de twee ventielen wordt bediend zijn beide kanten van de zuiger met de omgevingslucht verbonden, zodat de zuigerstang willekeurig kan worden verschoven.

Door het relatief hoge luchtverlies bij de geleiding van de zuigerstang, geschiedt de naar binnen verlopende beweging van de zuigerstang bij gebruik van de fischertechnik-modelcompressor met duidelijk geringer kracht.

Bladzijde 32

Bij deze schakeling (afb. 4 – 32) wordt een 4-poort/2-standen ventiel gebruikt. Afhankelijk van de stand van het ventiel wordt of de ene, of de andere kant van de zuiger van perslucht voorzien, dat wil zeggen dat de zuiger altijd in één van de twee uiterste standen is en daar d. m. v. de luchtdruk wordt vastgehouden. Zoals wij reeds weten (zie blz. 21) kan een 4-poort/2-standen ventiel door een normaal open en een normaal gesloten 3-poort/2-standen ventiel, die tegelij-

kertijd worden bediend, worden vervangen. In afb. 5 – 32 is het schema en in afb. 6 – 32 het model te zien. De gelijktijdige bediening van de twee ventielen wordt met behulp van twee rolarmen, die door een as - 30 met elkaar zijn verboden, bereikt.

Detail: Rolarmen met ventielen, afb. 6 – 32.

Bladzijde 33

Schema 7 – 33, tekening 8 – 33 model 9 – 33 laten nog een oplossing voor dit probleem zien. Wij zullen later nog toepassingen hiervan tegenkomen.

Bij gebruik van de fischertechnik-modelcompressor moet met de bediening gewacht worden tot er weer voldoende druk voorhanden is.

Bladzijde 34/35

Programmabesturingen

Als de cilinders in een bepaalde cyclus moeten bewegen, spreken wij van programmabesturing. De bediening van de ventielen gebeurt daarbij m. b. v. besturingsnokken of nokkenschijven. De vorm van deze schijven hangt af van het gewenste programma. Zij worden op een as bevestigd, die door een elektrische motor wordt aangedreven (afb. 1 – 34). De schakeling voor een enkelwerkende cilinder (afb. 1 – 34) ziet er dan net als de schakeling in afb. 1 – 23 uit. De nokkenschijven worden steeds paarsgewijs op een speciale naaf bevestigd. Door de nokkenschijven tegen elkaar in te draaien kunnen de schakeltijden worden veranderd. Het bijbehorende model is in afb. 2 – 34 te zien. De fischertechnik-model drijft via een transmissie de as met de nokkenschijven aan. De draaisnelheid van de motor en de overbrengverhouding van de transmissie hebben natuurlijk een invloed op de afloop van het programma.

Dubbelwerkende cilinders worden overeenkomstig afb. 3 – 35 met twee normaal gesloten ventielen bestuurd, net als in afb. 1 – 31. In dit geval kan men de zuigerstang vrij bewegen als beide ventielen gesloten

zijn. Als men dit wil vermijden, kan men de schakeling in afb. 4 – 35 met één normaal open en één normaal gesloten ventiel gebruiken. Deze schakeling komt overeen met afb. 5 – 32. Hier wordt elk ventiel door een aparte nokkenschijf bediend. Als wij hetzelfde met één nokkenschijf willen bereiken is afb. 5 – 35 van toepassing.

Bij gebruik van de fischertechnik-modelcompressor moet er bij het instellen van het programma op gelet worden, dat er in den schakelpauzes voldoende druk kan ontstaan en de bediening van de ventielen vlug genoeg plaatsvindt.

Bladzijde 36/37

Meerstandencilinder

In sommige automatische bewerkingsmachines is het wel eens nodig, dat de werkstukken enkele keren moeten worden verschoven. Daarbij kunnen de afstanden onderling verschillende zijn. Het werkstuk moet dus door een cilinder in verschillende standen worden geduwd, en wel zo nauwkeurig mogelijk. Op het eerste gezicht zou men denken, dat dit erg gemakkelijk is. Men moet de cilinder gewoon gedurende een bepaalde tijd van perslucht voorzien, totdat de gewenste plaats is bereikt en men de perslucht kan uitschakelen. Als wij dit nader onderzoeken blijkt echter, dat dit niet mogelijk is. Als namelijk de perslucht gewoon wordt uitschakeld is er immers in de cilinder nog steeds een bepaalde luchtdruk, die de zuiger door wil duwen, als de reactiekracht tenminste niet te groot is. In elk geval blijft de zuiger niet precies op één plaats staan. Als wij 3-poort/2-standen ventielen gebruiken, dan wordt de cilinder ontlucht en de zuiger beweegt nog een stukje. Ook op deze manier kunnen wij dus geen nauwkeurige positie bereiken. Het is dus beslist nodig dat wij de zuiger helemaal in één einstand duwen, omdat hij daar een exacte stand heeft. Om dit probleem op te lossen kan men verschillende cilinders aan elkaar bevestigen. De slag van de verschillende cilinders komt overeen met de verschillende afstanden, die moeten worden

afgelegd. Een dergelijk systeem noemt men „meerstandencilinder“.

In afb. 1 – 36 is de constructie van een dergelijke cilinder te zien. Vaak worden de twee dubbelwerkende cilinders aan elkaar bevestigd (afb. 1 – 36). Op deze manier krijgen wij een vierstandencilinder. Deze cilinders kunnen kant en klaar worden gekocht. Door combinatie met andere cilinders kunnen wij twaalf verschillende standen realiseren. In afb. 2 – 36 is het symbool van een meerstandencilinder te zien. Een andere oplossing voor dit probleem is in afb. 4 – 37 te zien.

De twee cilinders worden elk apart net als een enkelwerkende resp. dubbelwerkende cilinder bestuurd.

Onze cilinders hebben 16 mm resp. 32 mm slag, zodat wij bij de vierstandencilinder de volgende mogelijkheden hebben:

Zuigerslag		Weg mm
16 mm	32 mm	
0	0	0
1	0	16
0	1	32
1	1	48

0 = niet bediend 1 = bediend

Bij enkelwerkende cilinders is de besturing erg gemakkelijk. Ons model in afb. 3 – 36 werkt met één enkelwerkende en één dubbelwerkende cilinder en met de programmabesturing van afb. 1 – 34 resp. 3–35.

Bladzijde 38

Draai- en rotatiecilinders

Deze cilinder is eigenlijk een persluchtmotor die maximaal 360° kan draaien. Het symbool daarvoor

zien wij in afb. 1 – 38. Zij worden gebruikt voor de bediening van afsluitkleppen voor vloeistoffen, voor draaideuren enz. In ons model (afb. 2 – 38) zien wij hoe een deur m. b. v. een rotatiecilinder wordt aangedreven. De besturing van de dubbelwerkende cilinder gebeurt overeenkomstig afb. 1 – 31 of afb. 5 – 32; in het eerste geval kan men de deur bewegen als de ventielen niet worden bediend, in het tweede geval gaat de deur dicht zodra de drukknop wordt losgelaten.

Als u met de fischertechnik-modelcompressor werkt, moet er tussen twee bedieningen even gepauzeerd worden, zodat er weer voldoende druk kan ontstaan.

Bladzijde 39

Opslag van een impuls

Als een werkcilinder gedurende de gehele slag van de zuiger van perslucht moet worden voorzien, den moeten de ventielen zolang bediend worden totdat de zuiger aan het einde van de cilinder is aangekomen. Vaak is het echter wenselijk, dat men slechts heel even op de drukknop en dat het ventiel desondanks open blijft, totdat de zuiger zijn eindstand heeft bereikt. Men wil dus het signaal voor het openen van het ventiel opslaan, zodat het ook nadat de drukknop wordt losgelaten nog werkzaam is. Dit kunnen wij m. b. v. een zogenaamd *impulsventiel* doen. Als men slechts heel even op de toets „inschakelen“ drukt, dan blijft dit signaal zo lang staan totdat de toes voor het „uitschakelen“ wordt gedrukt. Overeenkomstig afb. 1 –39 kunnen wij een dergelijk impulsventiel m. b. v. een dubbelwerkende cilinder en een normaal gesloten 3-poort/2-standen ventiel realiseren. In afb. 2 – 40 kunnen wij zien hoe een dergelijk ventiel m. b. v. een cilinder-45 en een ventiel met blauwe stoter en rolarm kan worden gebouwd. Aan het einde van de zuigerstang is een bouwelement-7-5 en een hoekelement als bediennok bevestigd. In de ruststand drukt de nok via de rolarm op de stoter en daardoor wordt het ventiel geopend. Het ventiel blijft zolang open, totdat de zuigerstang naar de andere kant beweegt.

Daardoor sluit dit ventiel en het blijft zolang gesloten, todat de zuigerstang weer in de ruststand terugkeert. Op deze manier kunnen wij een signaal opslaan. Het signaal „inschakelen” (EIN) en het tegenovergestelde signaal „uitschakelen” (AUS) wordt elk door een 3-poort/2-standen ventiel gegeven. Deze ventielen besturen de cilinder overeenkomstig afb. 1 – 31. De twee leidingen tussen de ventielen en de cilinder zijn stuurleidingen en worden daarom met de letters Y en Z gekenmerkt. Deze leidingen transporteren de „besturingslucht”. De „werklucht” wordt door de uitgang A van eerder genoemde 3-poort/2-standen ventiel geleverd.

Bladzijde 40

Hefbrug

In afb. 3 – 40 is als toepassing hiervoor de besturing van een hefbrug afgebeeld. De hefbeweging gebeurt m. b. v. een enkelwerkende cilinder, omdat de beweging naar beneden m. b. v. de zwaartkracht kan gebeuren. Bij ons model is het gewicht relatief klein in verhouding tot de wrijving. Daarom is het aan te bevelen, een cilinder met veerretour te gebruiken. Als nu één van de twee rolarmen heel even wordt ingedrukt beweegt de hefcilinder naar één van zijn uiterste standen. Met het P-smoorventiel kan de bewegings-snelheid worden ingesteld.

In het schema 1 – 39 is trouwens bij wijze van uitzondering op de standen van de zuiger van het impulsventiel gelet. De door een streepuntlijn omrande elementen zijn samen het impulsventiel. Dit impulsventiel heeft een eigen symbool; dit is eveneens in afb. 1 – 39 te zien.

Detail: Ventielbesturing in afb. 3 – 40.

Bladzijde 41

In afb. 4 – 41 is nog een oplossing voor een impulsventiel te zien. Hier worden twee enkelwerkende cilinders i. p. v. één dubbelwerkende cilinder gebruikt.

Als men stelcilinders gebruikt, neemt dit ventiel bijzonder weinig plaats in beslag. Wij komen er in het volgende hoofdstuk nog eens op terug. Bij de besturing van dubbelwerkende cilinders bestaat er tussen de schakelingen overeenkomstig afb. 1 – 31 en afb. 5 – 32 een belangrijk verschil: in het eerste geval niet worden bediend) beweegt de zuiger, als het ventiel lang genoeg wordt bediend, in een eindstand en blijft daar, todat het andere ventiel wordt bediend. Het is niet persé noodzakelijk dat het signaal wordt opgeslagen. Anders is het bij de schakeling overeenkomstig afb. 5 – 32: daar be weegt de zuiger bij het bedienen van één ventiel naar één eindstand en bij het loslaten naar de andere eindstand. Om de zuiger in elke eindstand vast te kunnen houden zodat hij ook nadat het ventiel wordt losgelaten daar blijft is een 4-poort/2-standen ventiel met signaalopslag aan te bevelen. Dit is ook een impulsventiel, echter met twee werkleidingen. In het met een streepuntlijn omrande kastje van afb. 4 – 41 is een dergelijk ventiel te zien. Het bestaat uit een dubbelwerkende cilinder en één normaal open en één normaal gesloten 3-poort/2-standen ventiel, die tegelijkertijd worden bediend. Het symbol van een dergelijk ventiel is eveneens in afb. 10 – 46 te zien. Dit ventiel bezit behalve de gebruikelijke aansluitingen P (perslucht) en R (ontluchting) ook de aansluitingen Y en Z voor de stuurleidingen en A en B voor de werkleidingen. In afb. 5 – 42 is de constructie van dit impulsventiel te zien. In wezen komt dit ventiel overeen met dat van afb. 2 – 40. De rolarmen van het normaal open en het normaal gesloten ventiel zijn m. b. v. een as-30 met elkaar verbonden en zij worden tegelijkertijd door één nok bediend.

Bladzijde 42

Een ander systeem met twee stelcilinders i. p. v. de dubbelwerkende cilinder is in afb. 6 – 42 te zien. De werking van dit systeem kan gemakkelijk uit het schema worden afgeleid, omdat bij de tekening op de juiste zuigerstanden werd gelet.

Bladzijde 43/44

In afb. 7 – 43 is te zien, hoe een impulsventiel uit de onderdelen van de Pneumatika-does en uit normale fischertechnik-elementen kan worden gebouwd.

De schakelnok bestaat uit een bouwsteen-15 en een gelijkzijdig hoeksteen. Deze schakelnok wordt door de twee stelcilinders heen- en weer geschoven en bedient daarbij telkens één van de ventielen met een blauwe resp. rode stoter. De nok mag niet te gemakkelijk heen en weer glijden, omdat hij zich anders kan verstellen; hij moet echter door de stelcilinders goed kunnen worden verschoven zodat de ventielen feilloos openen en sluiten. De instelling vereist veel geduld; het voordeel is dat wij voor dit ventiel heel weinig plaats nodig hebben. Een hoeksteen en twee bouwsteen-5 zorgen ervoor, dat de nok niet naar buiten kan vallen. Een dergelijk impulsventiel is samen met de twee voor de bediening nodige 3-poort/2-standen ventielen in de kleine vorkheftruck van afb. 8 – 44 ingebouwd.

Afb. 7 – 43: Constructie-stadium 1, 2, 3

Bladzijde 45

In afb. 9 – 45 is de gehele eenheid met impulsventiel en besturingsventielen te zien. Deze besturingseenheid kan voor alle modellen met dubbelwerkende cilinders worden gebruikt, b. v. ook voor de automatische deur. Als men slechts de normaal gesloten kant van het impulsventiel gebruikt, kunnen ook enkelwerkende cilinders worden bestuurd.

Afb. 9 – 45 Constructie-stadium 1, 2

Bladzijde 46/47

Impulsbesturing

Wij zijn nu in staat een cilinder zodanig te besturen, dat hij in een bepaald ritme heen en weer beweegt.

Dit gebeurt zonder ingrijpen van buiten en het is een toepassing van het impulsventiel. Belangrijk is, dat de zuiger in zijn einstanden ventielen bedient die de stuurimpulsen voor het impulsventiel leveren. Het schema van een dergelijke installatie is in afb. 10 – 46 te zien; in afb. 11 – 47 is het schakelschema te zien zoals het er uit ziet als het impulsventiel van afb. 5 – 42 wordt gebruikt. Evenzo kunnen wij echter een impulsventiel overeenkomstig afb. 7 – 43 gebruiken.

Aan de hand van afb. 10 – 46 willen wij nu de werkwijze onderzoeken. Als de zuigerstang van de werkcilinder 1 uiterst rechts is wordt door een nok aan de zuigerstang het ventiel II geopend. Via de stuurleiding Z stroomt nu perslucht naar de stuurcilinder 2. De zuiger van de stuurcilinder beweegt nu naar links en daardoor kan het normaal gesloten ventiel III de linkerkant van de cilinder Z₁ met de ontluchting verbinden. Tegelijkertijd zorgt het ventiel IV ervoor, dat via de werkleiding B de rechterkant van de werkcilinder van perslucht worden voorzien. Daarom beweegt de zuiger naar links, totdat de nok op de zuigerstang het ventiel I opent. Nu stroomt via de stuurleiding Y perslucht naar de stuurcilinder. Daardoor opent ventiel III en ventiel IV sluit, zodat de linkerkant van de werkcilinder van perslucht wordt voorzien terwijl de rechterkant wordt ontluicht. De zuiger beweegt naar rechts en hetzelfde spel begint opnieuw. Het aantal slagen per tijdeenheid (minuut) hangt af van de luchtdruk, de cilindervolumes, de wrijving van de zuigerpakkingen en de zuigerstangpakkingen alsmede van enkele andere factoren. Zoals in afb. 11 – 47 te zien is. kan m. b. v. een P-smoorklep het aantal slagen per tijdeenheid (frequentie) worden beïnvloed. Daarover staat meer op bladzijde 54. Deze schakeling heeft trouwens een ingebouwde veiligheidsfunctie. Als nl. om de één of andere reden de zuiger van de werkcilinder of van de stuurcilinder zijn eindstand niet bereikt blijft de gehele installatie stilstaan. Daardoor wordt gega-randeerd dat de zuigerbeweging of over de gehele lengte of helemaal niet wordt doorgevoerd. Dit kunnen wij met het model gemakkelijk proberen.

Bladzijde 48/49

Pneumatische zoemer

Met de nu volgende schakeling kunnen wij een beetje spelen:

De werkwijze van een elektromagnetische zoemer resp. een elektrische bel. In afb. 12 – 48 is een schematische tekening van een dergelijke bel te zien. Als de magnetische spoel het anker aantrekt, wordt de stroom bij het verbreekkontakt onderbroken. Daardoor laat de magnetische spoel het anker weer los, het verbreekkontakt sluit weer enz. zodat het anker begint te oscilleren. Als men een klep aan het anker bevestigt en nog een scheldekseel plaatst is de elektrische schel klaar.

Voor onze pneumatische zoemer hebben wij twee enkelwerkende cilinders met retourveer nodig. De schakeling is in afb. 13 – 48 te zien. Cilinder 1 is een stelcilinder en cilinder 2 is een cilinder-45. De werkwijze is als volgt:

Cilinder 1 heeft net het 3-poort/2-standen ventiel I geopend, zodat cilinder 2 via de werkleiding B wordt ontluicht. Daardoor opent de zuiger van cilinder 2 het 3-poort/2-standen ventiel II (normaal geopend). Nu wordt cilinder 1 van perslucht voorzien, de zuiger beweegt naar links en opent het ventiel I. Daardoor wordt cilinder 2 van perslucht voorzien, de zuiger schuift naar rechts en ventiel II wordt gesloten; daardoor wordt cilinder 1 ontluicht, de zuiger beweegt naar rechts en nu zijn wij daar waar wij in het begin waren. De zuigers bewegen zo snel dat wij een zoemtoon horen. De toonhoogte kan m. b. v. een P-smoorklep worden veranderd. Deze klep kan ook zo worden ingesteld dat de zuigerbeweging heel langzaam wordt. Een model hiervoor is afb. 14 – 49 te zien.

Bladzijde 50/51

Tijdvertraging

M. b. v. deze schakeling kan worden bereikt, dat de zuiger niet direkt begint te bewegen nadat het ventiel

is bediend, maar pas na een bepaalde tijd. Dit gebeurt d. m. v. een vertragingventiel. Zoals in afb. 1 – 50 te zien is, bestaat een dergelijk ventiel uit een combinatie van twee 3-poort/2-standen ventielen een enkelwerkende cilinder, een smoorklep en een reservoir.

Deze elementen zijn in het schema weer door een streepjuntlijn omrand. In afb. 2 - 51 is de werkwijze te zien. De stelcilinder 1 wordt via het ventiel I rechtstreeks van perslucht voorzien. Deze perslucht stroomt niet door de smoorklep. Cilinder 1 is dus de cilinder, die moet worden bestuurd. Het ventiel I wordt op zijn beurt door de stelcilinder II bediend. Deze stelcilinder wordt via het ventiel II en de smoorklep van perslucht voorzien. Als de stelschroef van de P-smoorklep bijna helemaal naar binnen is gedraaid duurt het een bepaalde tijd totdat deze perslucht de verbindingsslang tussen II en 2 en het volume van cilinder 2 heeft opgevuld en de luchtdruk is bereikt.

Deze inhoud, die moet worden opgevuld, wordt „reservoirvolume” genoemd. Voor dergelijke reservoirs bestaat er een apart symbool. Pas als de lucht in de stelcilinder 2 een bepaalde druk heeft bereikt, wordt het ventiel I bediend en de cilinder I wordt van perslucht voorzien. De startcilinder 1 begint dus vertraagt te bewegen. Deze vertraging wordt groter als de inhoud van het reservoir groter wordt. Men kan het luchtreservoir nog vergroten indien men i. p. v. de stelcilinder 2 een cilinder-45 met retourveer gebruikt.

Deze cilinder heeft een grotere inhoud. In afb. 4 – 52 is een model van deze schakeling te zien. De duur van de vertraging hangt behalve van het cilindervolume ook af van de instelling van de P-smoorklep en van de afstand tussen cilinder 2 en ventiel I. Als de schakeling overeenkomstig afb. 1 – 50 is opgebouwd wordt slechts de uitgaande beweging van de zuiger vertraagd. De teruggangende beweging begint direkt omdat de cilinder 2 via de stuurleiding Z en niet via de smoorklep wordt ontluicht. De zuiger beweegt dus direkt terug nadat het ventiel II wordt losgelaten. Als men echter overeenkomstig afb. 3 – 51 de P-smoor-

klep tussen het ventiel II en de cilinder 2 plaatst worden zowel de uitgaande alsook de teruggaande slag van de cilinder 1 vertraagd, omdat de cilinder nu ook via de smoorklep wordt ontlucht.

Afb. 1 – 50 (grafische symbolen): luchtreservoir, smoorklep.

In de praktijk gebeurt het vaak dat wij iets wel direkt willen inschakelen maar dat het uitschakelen pas na een bepaalde tijd moet gebeuren. Een goed voorbeeld hiervoor is de verlichting in trappenhuizen. Wij bereiken dit, als wij voor het ventiel II een normaal open ventiel gebruiken en als wij de cilinder 1 zodanig plaatsen dat hij een elektrische drukknop bedient. Deze drukknop moet het elektrische circuit onderbreken als hij wordt ingedrukt. In afb. 5 – 53 is te zien hoe deze schakeling werkt:

In de normale toestand wordt de cilinder 2 (stuurcilinder) van perslucht voorzien. Daardoor stroomt er via het ventiel I eveneens perslucht naar de werkcilinder 1. De werkcilinder 1 drukt op de drukknop en daardoor is het stroomcircuit onderbroken. De verlichting is dus uitgeschakeld. Als nu ventiel II wordt bedient, dan wordt de stuurcilinder 2 met de ontluchting verbonden. Daardoor schakelt ventiel I en de werkcilinder 1 wordt eveneens ontlucht. De zuiger van deze cilinder wordt door de veer teruggeduwd, de drukknop wordt losgelaten en de verlichting wordt ingeschakeld. Als men nu de bedienknop van ventiel II loslaat stroomt via de P-smoorklep perslucht langzaam naar de stuurcilinder. Daardoor stijgt de luchtdruk. Na een bepaalde tijd is de druk zo groot geworden dat de stuurcilinder het ventiel I bedient. Daardoor wordt de cilinder 1 van perslucht voorzien. Deze cilinder schakelt op zijn beurt via de drukknop de verlichting weer uit.

Dit model, waarvoor wij enkele onderdelen uit de bouwdoos Elektromechanica nodig hebben, is in afb. 6 – 53 te zien. De benodigde elektromechanische onderdelen zijn ook los te verkrijgen.

Bladzijde 54

Snelheidsregeling

De snelheid van de zuigerbeweging hangt af van de hoeveelheid perslucht, die per tijdeenheid in de cilinder binnenstroomt. De hoeveelheid perslucht kan m. b. v. een smoorklep traploos worden veranderd. Een dergelijke smoorklep moet zo dicht mogelijk bij de cilinder worden geplaatst. Het is mogelijk om óf de luchttoevoer óf de luchtafvoer te smoren.

Zoals wij in afb. 1 – 54 kunnen zien, kan bij een enkelwerkende cilinder de lucht slechts aan één kant van de zuiger worden gesmoord. Bij de schakeling overeenkomstig afb. 1 – 54 is de uitgaande beweging van de zuiger langzaam maar de teruggaande beweging is snel, omdat de ontluchting niet wordt gesmoord. Daarentegen stroomt bij de schakeling overeenkomstig afb. 2 – 54 zowel de luchttoevoer als ook de luchtafvoer door de smoorklep, zodat en de uitgaande beweging en de teruggaande beweging met dezelfde vertraagde snelheid gebeurt. In afb. 3 – 54 zij de bijbehorende modellen te zien. Hier zijn de verschillende plaatsen van inbouw van de P-smoorklep te herkennen. Bij het model van de hefbrug (afb. 3 – 40) hadden wij reeds gebruik gemaakt van een schakeling overeenkomstig afb. 2 – 54.

Bij dubbelwerkende cilinders kan de lucht aan beide kanten van de zuiger worden gesmoord. De toestromende lucht en de uitstromende lucht zijn telkens op tegenover elkaar liggende kanten van de zuiger, d. w. z. als één kant van de zuiger van perslucht wordt voorzien wordt de andere kan ontlucht; smoring is óf bij de luchttoevoer óf bij de ontluchting mogelijk. Het is aan te bevelen om de ontluchting te smoren omdat dan de zuiger steeds aan beide kanten onder druk staat en daardoor gelijkmatiger beweegt. Bij kleine cilinders wordt ook wel de toestromende lucht en de ontluchting tegelijkertijd gesmoord.

Reeds bij ons model van de automatische deur met de draaicilinder hebben wij gebruik gemaakt van een P-smoorklep. Bij de toen gebruikte dubbelwerkende

cilinder hadden wij bij uitgaande slag smoring van de persluchtvoorziening en bij de teruggaande slag smoring van de ontluchting. Daardoor wordt de schakeling erg eenvoudig.

M. b. v. de P-smoorklep is het ook mogelijk frequentie van de impulsbesturing en van de pneumatische zoe-mer te veranderen. Bij de impulsbesturing kan de smoorklep óf in een werkleiding óf in een stuurleiding worden geplaatst. U mag zelf uitproberen in welk geval de beste resultaten worden bereikt.

Bladzijde 55/56

Pneumatische tastkop

Overeenkomstig de *optische tastkop* bestaat er in de pneumatika een *pneumatische tastkop*. Deze tastkop bestaat uit twee straalpijpen die precies in elkaars verlengde liggen, te weten de zender en de ontvanger. Hun symbool is in afb. 1 – 55 te zien.

De uit de zender uitredende luchtstraal wordt door de ontvanger opgevangen, als er geen voorwerp tussen de straalpijpen is. Zodra er een voorwerp tussen de straalpijpen raakt wordt de luchtstroom onderbroken; de pneumatische tastkop gedraagt zich dus net als een ventiel. Ook als de luchtstroom niet wordt onderbroken ontstaat er echter door luchtwervelingen een drukverlies, zodat de perslucht die bij de ontvanger aankomt niet rechtsstreeks kan worden gebruikt. M. b. v. deze lucht kan men echter een ventiel bedienen, dat dan ervoor zorgt dat de werkcilinder van perslucht wordt voorzien. Bij ons model (afb. 2 – 55) wordt de pneumatische tastkop voor de besturing van een aandrijving van een slinger gebruikt. De tastkop bestuurt hier een normaal open 3-poort/2-standen ventiel. De bijbehorende schakeling is in afb. 3 – 56 te zien.

Aan de bovenkant van de slinger is een kleine plaat aangebracht die een beetje uitsteekt en die bij maximale slingerbewegingen tussen de straalpijpen komt. Als deze plaat niet tussen de straalpijpen is, wordt m.

b. v. perslucht het 3-poort/2-standen ventiel door de stelcilinder 1 gesloten. Daardoor kan de stelcilinder 2 niet van perslucht worden voorzien. Als nu de plaat tussen de straalpijpen komt wordt de persluchtvoorziening van de stelcilinder 1 onderbroken, het ventiel gaat open en de stelcilinder 2 wordt van perslucht voorzien. Deze cilinder veroorzaakt een duw tegen de slinger die ervoor moet zorgen dat de slingerbeweging niet ophoudt. Als de luchtstraal niet meer door de plaat wordt onderbroken wordt de stelcilinder 1 weer van perslucht voorzien en m. b. v. het ventiel wordt de persluchtvoorziening voor de stelcilinder 2 onderbroken. Dit model moet erg nauwkeurig worden ingesteld. De periode (tijd voor één slingerbeweging) of door het gewicht van de slinger te veranderen. De periode kan niet worden veranderd door veranderingen van de pneumatische schakeling!

De combinatie van de stelcilinder 1 en het 3-poort/2-standen ventiel gedraagt zich als een versterker voor de stuurlicht en komt zodoende overeen met een relais of een transistor van de elektrotechniek.

Bladzijde 57

Luchtmotoren

Er bestaan veel verschillende soorten luchtmotoren. Wij willen alleen over die motoren praten, die wij m. b. v. de Pneumatika-bouwdoois in elkaar kunnen zetten.

De *persluchturbine* hebben wij reeds leren kennen. Een andere konstruktie is de *perslucht-zuigermotor*. De werkwijze van de luchtmotor met vier zuigere in afb. 1 – 57 is gemakkelijk te begrijpen. Het besturingsmechanisme is echter niet afgebeeld. De luchtmotoren zijn in wezen van stroommachines afgeleid en zijn bestaan uit vaste of bewegende en enkelwerkende of dubbelwerkende cilinders.

Bij de *zuigermotoren* wordt gebruik gemaakt van de expansie, d. w. z. de uitzetting van lucht die onder hoge druk staat, net als bij onze eerste proef op blz. 9.

Nadat de lucht in de cilinder is gestroomd sluit het inlaatventiel. De ingesloten lucht expandeert en duwt

de zuiger weg. Daarbij wordt er werk verricht. De heen en weer gaande beweging van zuiger wordt m. b. v. een krukoverbrenging in een draaibeweging omgezet, omdat dit technische voordelen biedt.

Omdat de lucht bij het expanderen behoorlijk afkoelt en omdat lucht altijd een bepaald vochtgehalte heeft bestaat echter de mogelijkheid dat ijs wordt gevormd en dit veroorzaakt storingen. Daarom laat men de lucht slechts gedurende het laatste gedeelte van de slag expanderen en de inlaatpoort wordt pas gesloten, als de zuiger reeds 70 – 80 procent van de weg heeft afgelegd.

De regeling van het toerental van deze motoren gebeurt door smoring van de luchtvoorziening. Het koppel van de motoren hangt af van de luchtdruk en kan dus via de luchtdruk worden ingesteld. De symbolen voor luchtmotoren met 1 resp. 2 draairichtingen zijn in afb. 3 – 57 te zien. Luchtmotoren met twee draairichtingen worden net als dubbelwerkende cilinders bestuurd.

In afb. 2 – 57 is de schakeling van een luchtmotor met één draairichting te zien.

Afb. 3 – 57 (grafische symbolen):

Luchtmotor met *één* draairichting.

Luchtmotor met *twee* draairichtingen.

En nu willen wij de modellen behandelen.

Bladzijde 58

Rechtopstaande luchtmotor met scharnierend opgehangen enkelwerkende cilinder.

Dit is de meest eenvoudige luchtmotor die wij met onze bouwdoois kunnen realiseren. Doordat de cilinder scharnierend wordt opgehangen is de mechanische opbouw probleemloos. De schakeling is dezelve als de reeds bekende programmabesturing

van een enkelwerkende cilinder (afb. 1 – 34). Het enige verschil bestaat daarin, dat de nokkenschijf rechtstreeks door de krukas wordt aangedreven. In afb. 4 – 7 – 58 is de werkwijze te zien. Als de zuiger in de bovenste stand is (*bovenste dode punt*; B. D. P.), moet de nokkenschijf net beginnen het 3-poort/2-standen ventiel te openen (afb. 4 – 58). In afb. 5 – 58 is te zien, hoe de binnenstromende lucht de zuiger naar drukt. Daarbij zwaait de scharnierende cilinder naar de zijkant. De perslucht verricht nu werk. Als de zuiger in zijn onderste stand is (*onderste dode punt*; O. D. P.), moet het ventiel net sluiten en beginnen, de cilinder te ontlichten (afb. 6 – 58). In afb. 7 – 58 kunnen wij zien, hoe de retourveer de zuiger weer naar het bovenste dode punt duwt. Deze motor werkt zonder „expansie”, d. w. z. dat de inlaatpoort gedurende de gehele slag is geopend. Het is logisch en het kan ook m. b. v. het model (afb. 9 – 58) worden bewezen, dat deze motor slechts in één richting draait. Het toerental kan m. b. v. de P-smoorklep worden ingesteld.

Bladzijde 59

Luchtmotor

Als deze motor door een fischertechnik-motor wordt aangedreven, dan werkt hij als compressor. Men kan dus nu perslucht opwekken. De compressor moet echter in de tegevoegestelde richting draaien als de luchtmotor. Als de zuiger in het onderste dode punt is, opent het ventiel en de zuiger duwt de lucht uit de cilinder. De ontlichting van het ventiel is daarbij gesloten. Als de zuiger in het bovenste dode punt is sluit het ventiel en de cilinder wordt de omgevingslucht verbonden. Deze omgevingslucht wordt tijdens de neergaande beweging van de zuiger aangezogen.

Bij het bouwen van het model moet erop worden gelet, dat de nokkenschijf het ventiel via de rolarm helemaal indrukt. De stoter moet dus ook helemaal worden ingedrukt. De slang, die het ventiel met de cilinder verbindt, moet zodanig worden aangebracht dat de cilinder gemakkelijk kan bewegen. Het sym-

bool voor een beweeglijke luchtleiding is in afb. 8 – 59 te zien.

Als iemand meer bouwelementen ter beschikking heeft, kan hij een motor bouwen die zodanig kan worden omgezet dat hij in beide richtingen kan draaien. Daarvoor hebben wij alleen maar een om 180° verdraaide „nokkenschijf” nodig. Deze nokkenschijf treedt in werking als het ventiel t. o. v. de krukas parallel wordt verschoven.

Over het algemeen begint een dergelijke motor niet vanzelf te draaien, hij moet worden aangeduwd.

Afb. 8 – 59 (grafisch symbool): eweglijke leiding.

Bladzijde 60/61

Rechtopstaande luchtmotor met scharnierend opgehangen dubbelwerkende cilinder.

De afb. 10 – 60 tot en met 13 – 61 maken de werkwijze van deze motor duidelijk. Het bijbehorende model is in afb. 14 – 61 te zien. Wij hebben hier geen rolarmen gebruikt, da nokkenschijven werken rechtsstreeks op de stotes van de ventielen. Wij kunnen natuurlijk ook gebruik maken van rolarmen, deze nemen echter meer plaats in beslag.

T. o. v. de instelling van het toerental, het omzetten van de draairichting en het gebruik als compressor geldt hetzelfde als voor de luchtmotor met enkelwerkende cilinder. Het voordeel van de motor met dubbelwerkende cilinder is het gelijkmatige koppel. Het luchtverbruik is ca. twee keer zo groot als bij de enkelwerkende motor; daarentegen levert deze motor bij gebruik als compressor ook keer zoveel lucht.

De aandachtige lezer zal zeker opmerken, dat de in afb. 10 – 60 afgebeelde schakeling overeenkomt met de programmabesturing van een dubbelwerkende cilinder (afb. 3 – 35), bij die de nokkenschijven rechtsstreeks op de krukas zijn geplaatst.

Bladzijde 62

Luchtmotor met balanceerhefboom

De konstruktie van de volgende luchtmotor (afb. 15 – 62) is afgeleid van de bekende stoommachine van *Watt*. Hij bestaat uit een vaststaande dubbelwerkende cilinder. De zuigerbeweging wordt via de balanceerhefboom naar de krukas overgedragen. De pneumatische schakeling komt overeen met die van de rechtopstaande, dubbelwerkende luchtmotor. Wij hebben hier dus in principe een programmabesturing van een dubbelwerkende cilinder met nokkenschijven, die op de krukas zijn geplaatst. Dit model, dat uitstekend werkt, is voor hen die een iets ruimere keus van fischertechnik-bouwstenen bezitten. In de bouwdoos Start 100 zijn namelijk niet genoeg bouwstenen. De twee ventielen worden weer m. b. v. rolarmen bediend.

Detail: bediening van de ventielen, afb. 15 – 62.

Bladzijde 63

Horizontale luchtmotor met vaststaande, dubbelwerkende cilinder

Deze machine (afb. 16 – 63) lijkt qua konstruktie op een stoommachine. Omdat de cilinder vaststaat worden de zuigerbewegingen m. b. v. een drijfstaaf in een draaiende beweging van de krukas omgezet. Ook voor deze machine zijn er niet voldoende elementen in de bouwdoos. Start 100. Deze machine is zo sterk, dat zij een fischertechnikmotor kan aandrijven. Deze motor werkt dan als generator en levert een spanning van circa 2 volt. Als men omgekeert de fischertechnik-motor aan een spanningsbron aansluit, werkt deze machine als compressor (als de draairichting klopt)!

Detail: bediening van de ventielen, afb. 16 – 63.

Bladzijde 64/65

Andere modellen van luchtmotoren

Om hen die voldoende elementen bezitten aan te sporen zijn in de afb. 17 – 64 en 18 – 64 nog twee luchtmotoren afgebeeld: een V-vormige *tweecilinderluchtmotor* die vanzelf begint te draaien en een *tweecilinder-motor* waar de *cilinders naast elkaar liggen*. De laatste genoemde motor bestaat in wezen uit twee éencilindermotoren, die via de draaischijf met elkaar zijn verbonden. De besturing gebeurt overeenkomstig afb. 8 – 33 en is voor beide motoren gelijk. De aandrijving gebeurt via het tandwiel-40/32 en wordt op grotere spoed overgebracht. Bij het bouwen moet erop worden gelet, dat de krukpenen van de twee motoren t. o. v. elkaar 90° moeten worden verdraaid.

Het is bij alle modellen erg belangrijk, dat zijn soepel draaien zodat er geen onnodig wrijvingsverlies ontstaat. Het maximaal toerental bereiken wij als wij helemaal geen smookklep plaatsen, omdat deze smookklep, al is hij helemaal opgedraaid, reeds een bepaalde smoring veroorzaakt.

Detail afb. 17 – 64: achterkant (vliegwielen is verwijderd).

Bladzijde 66/67

Pneumatische bagger (voorpagina)

Het bijbehorende schema staat op de achterkant van dit boekje.

Konstruktie-stadium 1, 2, 3.

Elektropneumatische besturingen

De bediening van een slagboom, bijvoorbeeld bij een fabriekspoort, kan pneumatisch geschieden. Dit gebeurt gewoonlijk vanuit de portiersloge, dat wil zeggen door middel van afstandsbediening. Door een besturing volgens afbeelding 2 – 54 met een passend poortventiel in de portiersloge kan deze besturing gerealiseerd worden. Dan zou er echter een onder omstandigheden tamelijk lange persluchtleiding tussen de portiersloge en de slagboom moeten worden gelegd, wat gecompliceerd, duur en wegens eventueel optredende lekken ook slechts met moeite te onderhouden zou zijn. Elektrische leidingen kunnen daarentegen makkelijk gelegd worden, hebben minder last van storingen en zijn vooral bij grote afstanden heel wat goedkoper dan persluchtleidingen.

Om deze redenen gebruikt men in zulke en soortgelijke gevallen graag *gecombineerde* besturingsstelsels, dat wil zeggen elektropneumatische besturingen. Bij deze systemen wordt het *geven* en *verwerken* van *signalen* elektrisch uitgevoerd, dat wil zeggen de besturingsinstructies van de portier worden door een elektrische drukknop gegeven en door elektrische leidingen getransporteerd; de eigenlijke prestatie geschiedt echter pneumatisch via een werkcilinder. De verbinding tussen het zogenaamde informatiegedeelte en het energiegedeelte van de installatie wordt door een elektrisch bediend ventiel gemaakt. Het wordt in de regel met een elektromagneet uitgerust en kort magneetventiel genoemd. Het ventiel zelf is een poortventiel van de op bladzijde 20 beschreven soort; de elektromagneet wordt met gelijk- of wisselstroom, gewoonlijk met 12 of 24 Volt gedreven. Het symbool van een magneetventiel (afbeelding) onderscheidt zich uitsluitend aan de bedieningskant van het symbool voor andere poortventielen (zie ook bladzijde 75).

Het voordeel van elektropneumatische besturingen ligt behalve in de snelheid en de makkelijke verbinding

smogelijkheden in de signaalstroom, in de mogelijkheid grote afstanden zonder problemen te overbruggen. In ruimtes en bij installaties die licht ontvlambaar zijn of waar ontploffingsgevaar bestaat, zal men echter aan de pneumatische besturingen waarbij geen vonken kunnen ontstaan de voorkeur geven.

Bladzijde 69

Het fischertechnik-magneetventiel

De bezitters van de aanvullende doos elektromechanika kunnen een magneetventiel bouwen dat op afbeelding 4–69 getoond wordt. Bij het bouwen moet erop gelet worden dat de bouwplaat 15 x 45 makkelijk tussen de bouwstenen 5 en het ventiel bewogen kan worden. Om ervoor te zorgen dat de terugsluitplaat na het uitschakelen van de stroom niet aan de magneet blijft hangen (door het zogenaamde *remanente*, dat wil zeggen achterblijvende magnetisme) plakt men er een etiket op. Nog meer etiketten (2 à 5 stuks) plakt men op bouwsteen 7,5. Hun aantal moet zo gekozen worden, dat het ventiel volledig bediend kan worden als de terugsluitplaat aangetrokken is, maar dat het aan de andere kant na het uitschakelen van de stroom weer in zijn beginstand staat.

Het ventiel kan al naar gelang van het verbruiksdoel ervan normaal *gesloten* (blauw) of normaal *open* (rood) zijn. De bediening van het ventiel kan elektrisch door middel van *drukknoppen* of *schakelaars* plaatsvinden, al naar gelang het gebruik dit eist.

Bladzijde 70

Elektropneumatisch bediende slagboom

De aan het begin genoemde besturing van een slagboom is bij het model volgens afbeelding uitgevoerd. Het erbij behorende schakelschema ziet u op afbeelding. Het smoorventiel is in overeenstemming met de schakeling van afbeelding 2 – 54 aangebracht en het werkt dus bij het heen- en weergaan van de zuiger. Het eigengewicht van de slagboom is door bouwstenen die als tegengewicht dienen bijna opgeheven,

zodat de werkcilinder slechts een geringe kracht hoeft te ontwikkelen. In de op afbeelding getoonde opstelling wordt de cilinder bij het bedienen van de slagboom gesloten. Als men de kabeltrommel op de krukas omdraait kan men bereiken dat de werkcilinder de slagboom opent. Dit kan makkelijk geprobeerd worden. Men kiest de instelling dus zo, dat de werkcilinder de slagboom telkens uit zijn ruststand brengt, dat wil zeggen bij een spoorboom de slagboom laat dalen, een slagboom aan de poort echter omhoog heft. In de ruststand is de werkcilinder telkens drukloos en het magneetventiel stroomloos. Of men een drukknop of een schakelaar voor de schakeling van de elektromagneet gebruikt, hangt van de duur van de bediening af. Bij gebruik van de schakeling volgens schema kan het model op onberispelijke wijze met de fischertechnik-modelcompressor worden gedreven, vooral als er tussen de verschillende bedieningen de noodzakelijke korte pauzes worden ingelast. Het smoorventiel vermijdt plotseling openen dichtklappen van de slagboom en maakt een met de werkelijkheid overeenkomende langzame beweging mogelijk. Bij gebruik van de modelcompressor voedt men het magneetventiel het beste uit de zijuitgang van de gelijkrichter mot 4. Bij oudere uitvoeringen van deze gelijkrichter heeft de genoemde uitgang wisselspanning wat u door het brommen van de elektromagneet merkt maar wat niet van betekenis is.

Bladzijde 71

Elektropneumatisch bediende schuifdeur

Bij het schuifdeurmodel volgens schema hebben wij de van schema 7 – 33 bekende besturing voor dubbelwerkende cilinders gebruikt. Wegens de noodzakelijk af te leggen weg voor het openen van de deur die met een enkele cilinder niet gerealiseerd kan worden, hebben wij twee cilinders *wat de beweging betreft achter elkaar* geplaatst maar wat de *luchtvoorziening* betreft *parallel geschakeld*. Zoals bekend is kan volgens afbeelding 5 – 32 de combinatie van normaal gesloten en normaal open ventiel bij gelijktijdige

bediening een 4-poorten/2-standen ventiel vervangen. Dit bedienen geschiedt na analogie van schema 7 – 33 pneumatisch zodat het schakelschema volgens afbeelding ontstaat. Verder vereenvoudigd is afbeelding.

Hij toont een elektromagnetisch bediend 4-poorten/2-standen ventiel en vervangt de in het overzichtsschakelschema (afbeelding) door een streep-puntlijn ingesloten opstelling. Om de deur niet al te heftig dicht te laten slaan, verdient het aanbeveling de sluitende beweging te smoren. De openende beweging geschiedt wegens de verliezen aan lucht bij de doorkomst van de zuigerstang minder krachtig en hoeft dus niet gedempt te worden.

Als men de deur ononderbroken gesloten wil houden en slechts wil openen als dit nodig is, moet er in het magneetventiel een normaal open ventiel opgenomen worden. Het bedieningsventiel staat dan voortdurend onder druk en sluit via het normaal gesloten ventiel de beide cilinders aan de van de zuigerstangpakking afgekeerde kant aan de drukleiding aan.

Hier treden nauwelijks luchtverliezen op. Als men de deur voortdurend geopend wil houden en bijvoorbeeld slechts in geval van gevaar wil sluiten, zou men de zich aan de kant van de zuigerstang bevindende cilinderruimte voortdurend onder druk moeten houden zodat de persluchtbron van tijd tot tijd de luchtverliezen kan aanvullen. Het wordt aan u overgelaten andere en eventueel betere schakelvarianten uit te kiezen.

Om deze schuifdeur te bedienen is de fischertechniekmodelcompressor niet sterk genoeg.

Hydraulische hefbrug

De voordelen van *hydraulische* tegenover *pneumatische* installaties die een rol spelen als er grote krachten vereist zijn, hebben wij reeds op bladzijde 6 genoemd. Aan de hand van het model volgens afbeelding worden zij volledig duidelijk.

Eerst bouwen wij de van een parallellogram-geleiding voorziene hefbrug volgens afbeelding op en installeren ook de beide werkcilinders die wij, ongeveer zoals wij bij het model volgens schema 1 – 13 hebben gedaan, direct door een leiding verbinden.

Bij het aansluiten van de leiding moet de veercilinderzuiger helemaal naar binnen, de zuiger van de andere cilinder helemaal naar buiten staan.

De functie van het model zal niet volledig tevreden stellen want er kan geen voldoende slag worden verkregen. Als de cilinderzuiger van de overbrenger helemaal naar binnen is, heeft de zuiger van de cilinder van de overgebrachte kracht pas een gedeelte van zijn weg afgelegd. De reden daarvoor is duidelijk:

Voor het opheffen van de brug is er een bepaalde kracht in de cilinder van de overgebrachte kracht noodzakelijk die natuurlijk door de daarin heersende druk wordt bepaald. Deze tamelijk hoge druk komt van de cilinder van de overbrenger. Daar moet de ingesloten lucht zo sterk samengedrukt worden dat de noodzakelijke druk verkregen wordt. Pas nadat die bereikt is, kan de beweging van de brug beginnen. Om de genoemde druk te verkrijgen is echter reeds een gedeelte van de mogelijke weg van de zuiger van de cilinder van de overbrenger noodzakelijk zodat voor de eigenlijke hefbeweging slechts de rest ter beschikking staat. De samendrukbaarheid van de lucht is hier dus hinderlijk en het ligt voor de hand een vloeistof als middel voor de overbrenging te gebruiken.

Vloeistoffen zijn, zoals bekend is, bijna niet samendrukbaar. In de praktijk wordt gewoonlijk olie of een speciale hydraulische vloeistof gebruikt, maar men kan ook water gebruiken. Wij gebruiken bij het model uitsluitend water omdat men daarmee schoon kan werken en de pakkingen niet beschadigd worden. Bij het vullen van het stelsel is het belangrijk dat er geen lucht in achterblijft die door haar samendrukbaarheid de voordelen van de vloeistof op zouden heffen. Daarom brengt men, zoals afbeelding toont, op het hoogste punt van de leiding een ventilatie-mogelijk-

heid aan. Eerst sluit men aan het T-stuk van het model een slang aan en steekt hem in een glas water. Nu vult men de installatie doordat men door het uittrekken van de zuigerstangen van beide cilinders water aanzuigt. In deze toestand sluit men na het afnemen van de slang het T-stuk met een P-stop. Nu maakt men de P-stop zover los, dat er een weinig vloeistof bij het T-stuk naar buiten komt en de brug zich naar zijn onderste eindstand beweegt. Tegelijk met het naar buiten komende water ontwijkt ook een groot gedeelte van de lucht. Als men de P-stop nu weer stevig erin steekt, is de ventilatie gewoonlijk voldoende. De zuiger van de cilinder van de overgebrachte kracht gaat dan volledig naar buiten zodat de brug zijn volledige hefhoogte verkrijgt als men de zuiger van de cilinder van de overbrenger bedient.

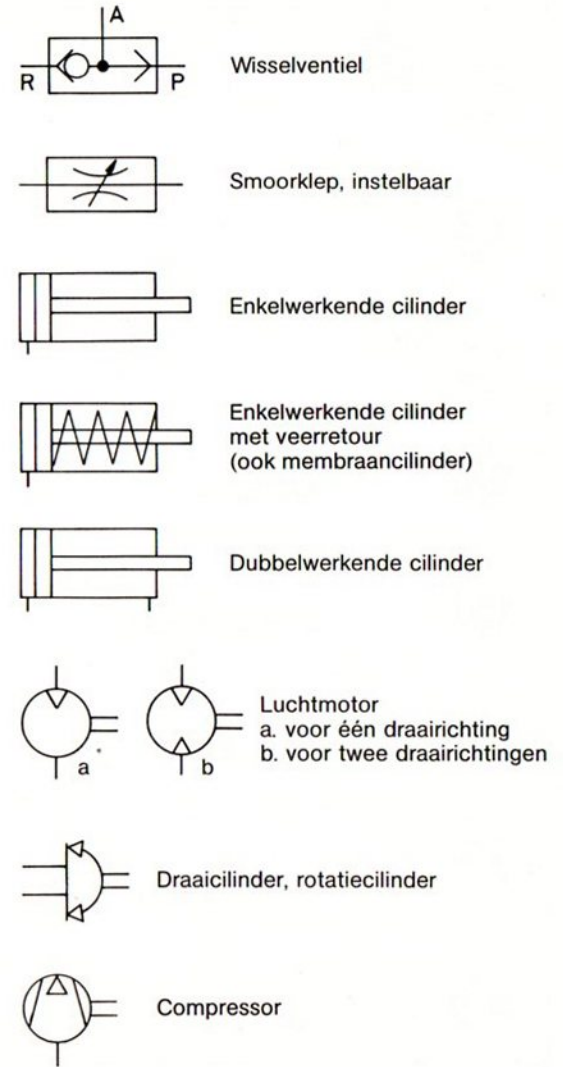
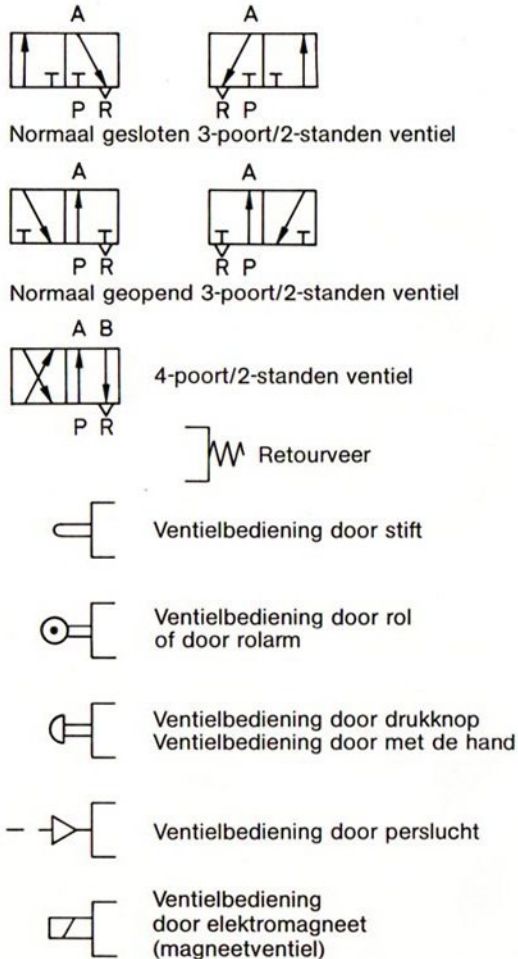
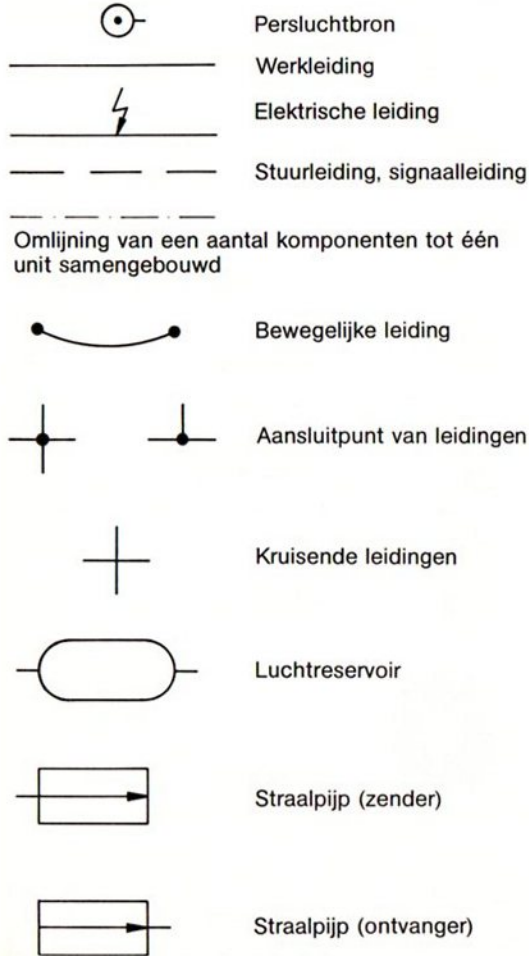
Van tijd tot tijd moet er wat water bijgevoerd worden omdat bij de relatief hoge druk altijd water langs de pakking-manchetten van de zuigers gedrukt wordt.

Omslag keerzijde








Schema voor de pneumatische bagger (van de voorpagina).

Aanwijzingen voor het bouwen op blz 66.

**Samenvatting van de in dit boekje gebruikte symbolen
(Grafische symbolen overeenkomstig DIN ISO 1219 van augustus 1978)**



Stuklijst Pneumatika

	Aantal
 Cilinder 45	1
 Cilinder 60	1
 Cilinder 45 met retourveer	1
 Stelcilinder	4
 Dubbele stelcilinder	1
 P-smoorklep	1
 Ventiel, gesloten	3
 Ventiel, open	1

	Aantal
 Straalpijp	2
 T-stuk	10
 P-verdeler	1
 P-stop	10
 Slang 2 x 0,5 x 3000	1
 Slang 10 x 0,5 x 50	1
 Rolarm	4
 Bouwsteen 5	10

	Aantal
 Bouwsteen 7.5	4
 S-grendel 8 mm	4
 Grendelschijf	6
 Verbindingsstuk 15	18
 Koppeling 2	4
 Cilinder-aansluiting	4
 Platte naaf	1
 Vliegwiel	1
 Nokschijf	4

