

Pneumatische installaties



Over ThiemeMeulenhoff

ThiemeMeulenhoff is dé educatieve mediaspecialist en levert educatieve oplossingen voor het Primair Onderwijs, Voortgezet Onderwijs, Middelbaar Beroepsonderwijs en Hoger Onderwijs. Deze oplossingen worden ontwikkeld in nauwe samenwerking met de onderwijsmarkt en dragen bij aan verbeterde leeropbrengsten en individuele talentontwikkeling.

Meer informatie over ThiemeMeulenhoff en een overzicht van onze educatieve oplossingen: www.thieme-meulenhoff.nl of via de Klantenservice 088 800 20 16

© ThiemeMeulenhoff, Amersfoort, 2014.

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

Voor zover het maken van kopieën uit deze uitgave is toegestaan op grond van artikel 16B Auteurswet 1912 j° het Besluit van 23 augustus 1985, Stbl. 471 en artikel 17 Auteurswet 1912, dient men de daarvoor wettelijk verschuldigde vergoedingen te voldoen aan Stichting Publicatie- en Reproductierechten Organisatie (PRO), Postbus 3060, 2130 KB Hoofddorp (www.stichting-pro.nl). Voor het overnemen van gedeelte(n) uit deze uitgave in bloemlezingen, readers en andere compilatiewerken (artikel 16 Auteurswet) dient men zich tot de uitgever te wenden. Voor meer informatie over het gebruik van muziek, film en het maken van kopieën in het onderwijs zie www.auteursrechtenonderwijs.nl.

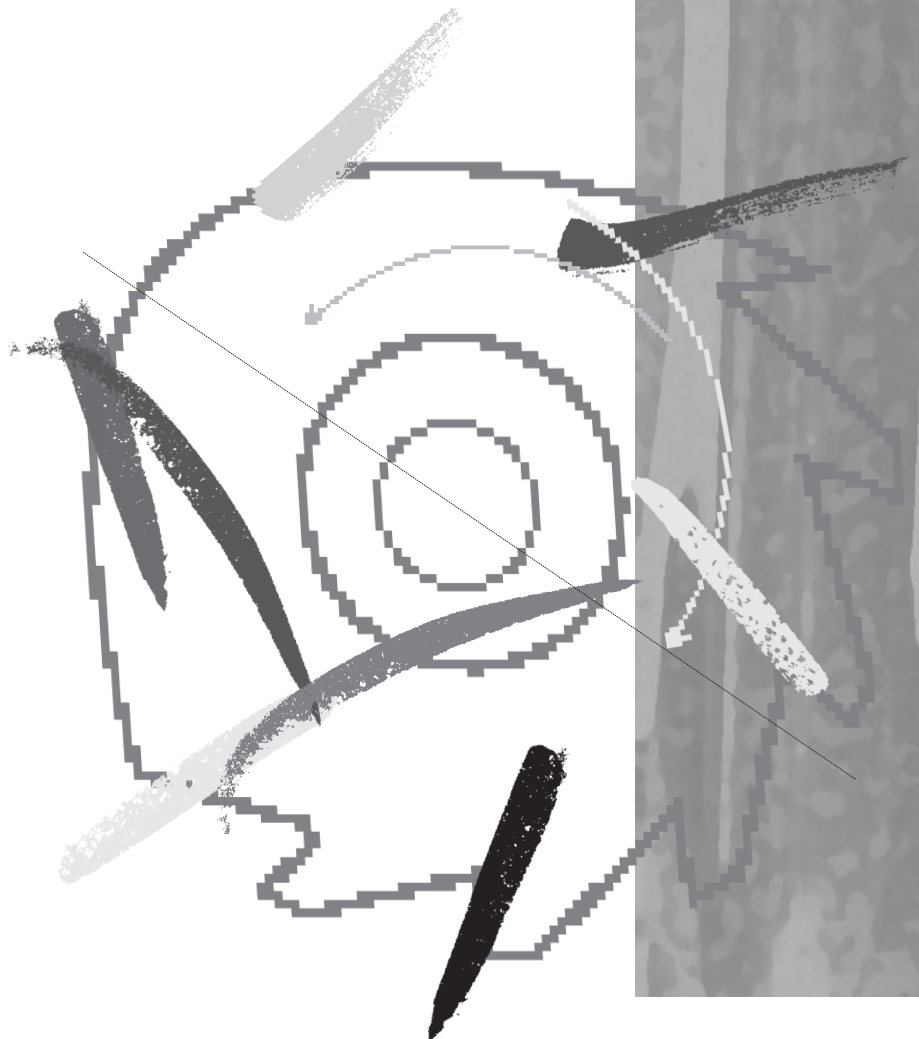
De uitgever heeft ernaar gestreefd de auteursrechten te regelen volgens de wettelijke bepalingen. Degenen die desondanks menen zekere rechten te kunnen doen gelden, kunnen zich alsnog tot de uitgever wenden.

Inhoud

1	Pneumatische installaties	5
1.1	Inleiding	6
1.2	Energievormen	6
1.3	Pneumatische energie	8
	1.3.1 Persluchtsystemen	8
	1.3.2 Vacuümsystemen	10
1.4	Opbouw van een persluchtsysteem	12
	1.4.1 Indeling van compressoren	12
1.5	Oscillerende (lineaire) compressoren	13
	1.5.1 Enkelwerkende zuigercompressoren	13
	1.5.2 Dubbelwerkende zuigercompressoren	15
	1.5.3 Membraancompressoren	16
1.6	Roterende compressoren	16
	1.6.1 Eénassige roterende compressoren	16
	1.6.2 Tweeassige roterende compressoren	17
1.7	Meertrapscompressoren	19
1.8	Compressorkeuze	21
1.9	Opbrengstregelingen bij compressoren	22
1.10	Compressortoebehoren	25
	1.10.1 Aanzuigfilter	25
	1.10.2 Drukvat	26
	1.10.3 Waterafscheider	27
	1.10.4 Absorptiedroger	30
	1.10.5 Koeldroger	31
1.11	Persluchtleidingen	32
	1.11.1 Het hoofdleidingnet	32
	1.11.2 Verbindingen naar gebruikers	35
	1.11.3 Conditioneringseenheid	38
1.12	Opbouw van een vacuümsysteem	42
1.13	Kernpunten	43
	Opgaven	47

Pneumatische installaties

1



1.1 Inleiding

Vaak zie je bij sloopwerkzaamheden dat iemand met een persluchthamer het beton los hakt. Zie figuur 1.1.



Figuur 1.1 Sloopwerkzaamheden

Bij de persluchthamer zie je een hakbeitel, een compressor die de benodigde druk en stroming levert en een luchtslang die de onder druk staande lucht van de compressor naar het gereedschap transporteert. De compressor wordt aangedreven door elektrische energie of mechanische energie. Installaties die werken met onder druk staande lucht noemen we *pneumatische installaties*. In dit hoofdstuk lees je meer over deze installaties.

1.2 Energievormen

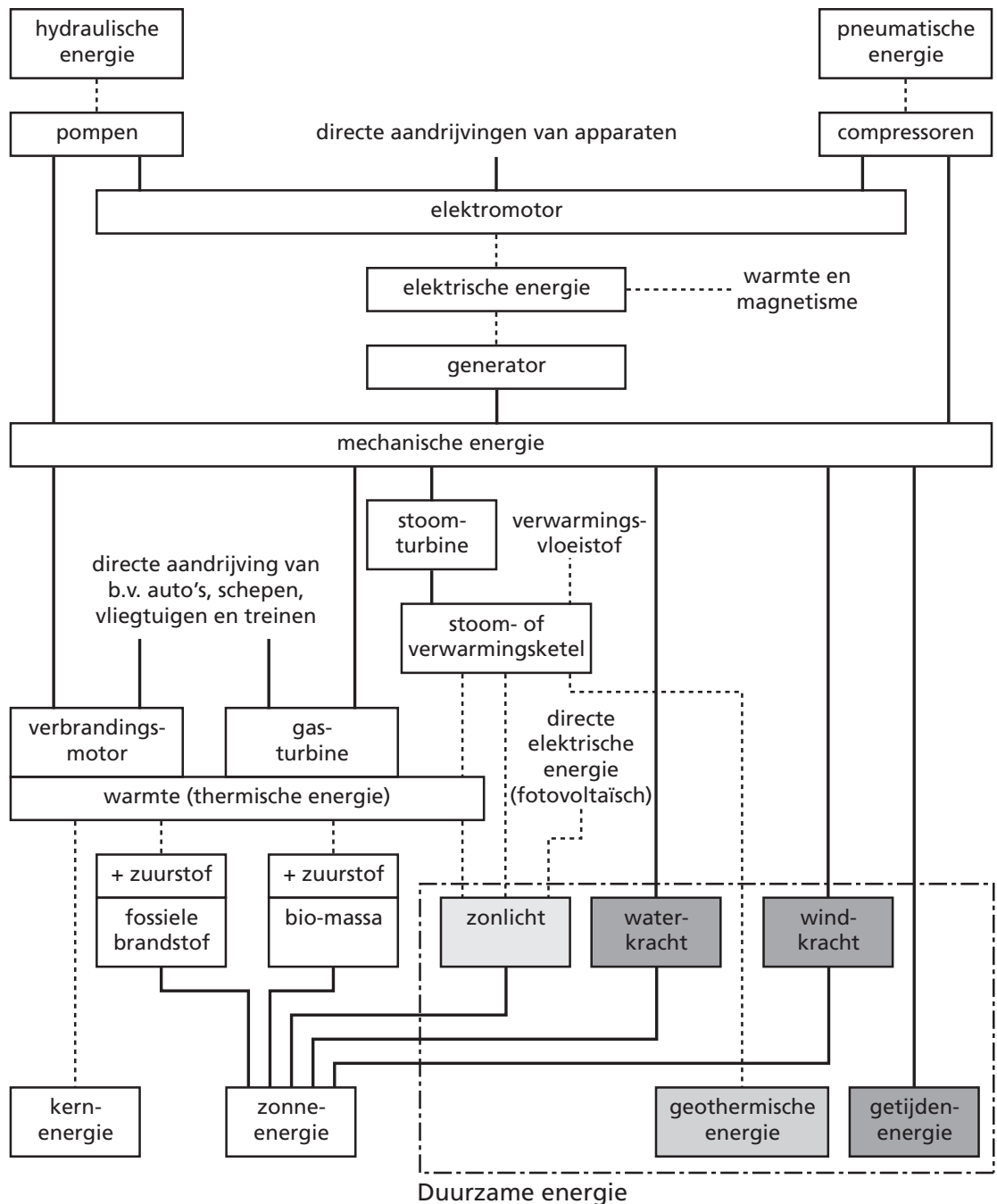
Pneumatische energie is een van de vele energievormen die we kunnen gebruiken om bepaalde doelen te bereiken. Hiervan is warmte- (of thermische) energie de belangrijkste.

In figuur 1.2 kun je zien dat zonne-energie de basis is voor een groot deel van de thermische energie. Tegenwoordig maakt men onderscheid tussen de toepassing van thermische energie uit fossiele brandstoffen of nucleaire energie en *duurzame* energie. Met fossiele brandstoffen, biomassa, kernenergie of zonlicht kun je thermische energie opwekken. Die thermische energie kun je met een verbrandingsmotor, gasturbine of stoominstallatie omzetten in mechanische energie. De mechanische energie kun je dan weer op verschillende manieren toepassen.

Bij energieomzettingen treden altijd verliezen op. Bij de energieomzetting van thermische energie naar elektrische energie (bijvoorbeeld in een stoominstallatie), moet je bijvoorbeeld rekenen met een verlies van meer dan 50%.

De energievormen die we door omzetting uit mechanische energie kunnen maken, noemen we de *secundaire energievormen*. Deze zijn:

- pneumatische energie;
- hydraulische energie;
- elektrische energie.

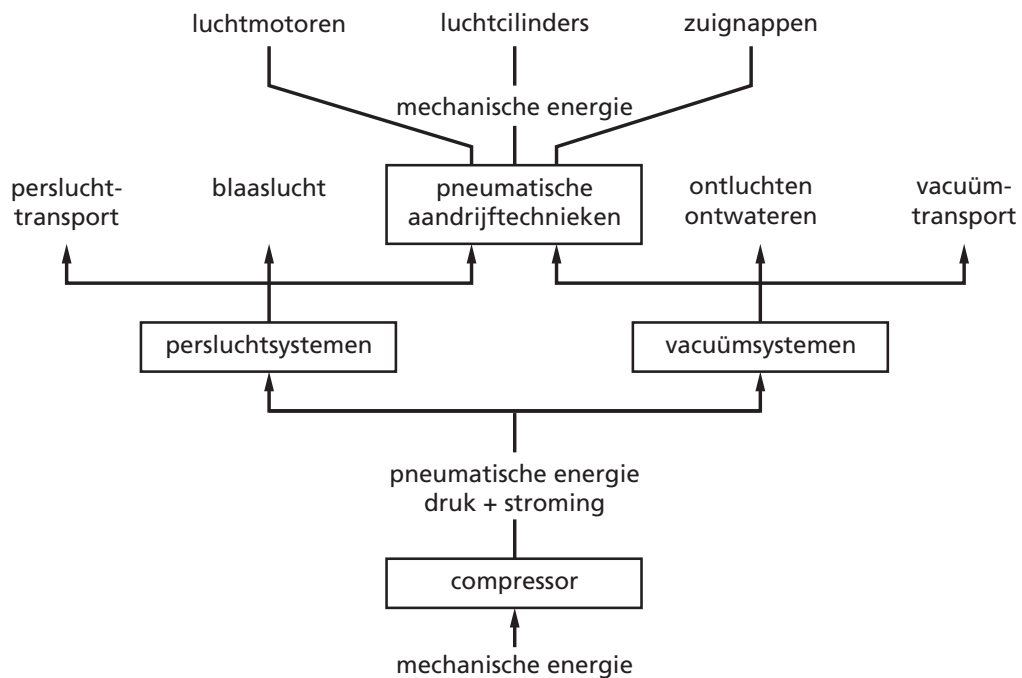


Figuur 1.2 Energie-omzetting

1.3 Pneumatische energie

Bij pneumatische energie wordt mechanische energie omgezet in perslucht, vacuüm of luchtstroming. Pneumatische energie verplaatst zich via een leidingstelsel naar een verbruikersplaats. Daar wordt deze energie weer omgezet in bijvoorbeeld mechanische energie.

In figuur 1.3 zie je een overzicht met een aantal toepassingen.



Figuur 1.3 Omzetting van mechanische energie via pneumatische energie naar mechanische energie

1.3.1 Persluchtsystemen

Van perslucht is sprake als de druk hoger is dan de omgevingsdruk. Zo'n druk wordt gecreëerd door lucht samen te persen in een ruimte. De eenheid voor persdruk is pascal (symbool Pa). 1 pascal is de druk waarbij loodrecht op een oppervlak van 1 m² een gelijkmatig verdeelde kracht van 1 newton (N) wordt uitgeoefend.

$$1 \text{ pascal} = 1 \text{ newton/m}^2$$

Zelfs bij normale drukken geeft de eenheid pascal in de industriële pneumatiek te grote getallen. Daarom geven we ééntiende van de megapascal (MPa) de naam bar.

$$1 \text{ bar} = 0,1 \text{ MPa} = 100\,000 \text{ Pa} = 10^5 \text{ Pa}$$

Voordelen van het gebruik van perslucht zijn:

- perslucht kan tijdens het gebruik zonder probleem in de werkruimte ontsnappen;
- het gebruik van perslucht levert geen brand- of explosiegevaar op;
- het gebruik van persluchtgereedschap, zie figuur 1.4, is in een stoffige en vochtige omgeving geen bezwaar;
- persluchtgereedschappen kunnen niet overbelast worden.



Figuur 1.4 Pneumatisch handgereedschap

Meestal delen we de toepassingen van persluchttechnieken onder in zes kwaliteitscategorieën. Zie tabel 1.1.

TABEL 1.1 TOEPASSINGEN VAN PERSLUCHT MET AANBEVOLEN KWALITEITSKLASSEN (ISO 8573-1)

kwaliteits- klasse	stof		water		olie	toepassingen
	deeltjes- grootte	concentratie in mg/m ³	dauwpunt in °C	concentratie in mg/m ³	concentratie in mg/m ³	
0	opgegeven	opgegeven	opgegeven	opgegeven	< 0,01	speciale toepassingen
1	0,1 µm	0,1	-70	0,003	0,01	fotografische industrie
2	1 µm	1	-40	0,11	0,1	pneumatische regelinstrumenten
3	5 µm	5	-20	0,88	1,0	drukregelaars
4	15 µm	8	+ 3	6,0	5	industrieel pneumatisch gereedschap
5	40 µm	10	+ 7	7,9	25	luchtdrukhamers
6	> 40 µm	> 10	+10	9,4	>25	verplaatsingslucht

1.3.2 Vacuümsystemen

Van vacuüm is sprake als de druk lager is dan de omgevingsdruk. Een vacuüm wordt gecreëerd door lucht af te pompen uit een ruimte. De omgevingsdruk is weersafhankelijk, maar ligt in de buurt van de atmosferische druk (de normdruk). Deze is vastgesteld op 1013 mbar. Drukmeters (of manometers), geven het positieve of negatieve verschil aan tussen de absolute druk en de omgevingsdruk. Bij een negatief verschil vermelden we het min-teken bij de gemeten drukwaarde of geven we aan dat er sprake is van onderdruk.

-1000 Pa = onderdruk van 1000 Pa (ten opzichte van de omgevingsdruk)

Vacuümprocessen komen veelvuldig voor in de verschillende sectoren in de industrie. Denk bijvoorbeeld aan zuignappen die onderdelen of producten oppakken. Zie figuur 1.5.



Figuur 1.5 Vacuümtechniek

Een ander voorbeeld van een industrieel vacuümsysteem is bijvoorbeeld het lijmen onder vacuüm. Moeten we grote oppervlakken lijmen, dan is het moeilijk om deze grote vlakken in een lijmkleem te zetten. Een lijmkleem voor het lijmen van de gelaagde zijwand van een caravan van $6 \times 2,4$ m is er gewoon niet. Dat wordt als volgt met onderdruk opgelost. Op een grote tafel worden de te lijmen onderdelen van de zijwand ingesmeerd met lijm en op elkaar gelegd. Hierover gaat een stevige plastic folie, die rondom met klemmen wordt vastgezet. De klemmen sluiten de folie luchtdicht af. Nu pompen we met een vacuümpomp de lucht onder de folie weg.

Met een kleine vacuümpomp van 1,5 kW en een onderdruk van 100 mbar kunnen we een gelijkmatige kracht op deze plaat brengen van ongeveer 1300 kN. Als we in plaats van vacuümtechniek een lijmpers hadden willen gebruiken, had deze wel erg groot moeten zijn.

Het opwekken van een vacuüm heeft wel als nadeel dat het veel energie vereist.

We verdelen de toepassingen van vacuümtechnieken onder in vier categorieën van eindrucken. Zie tabel 1.2.

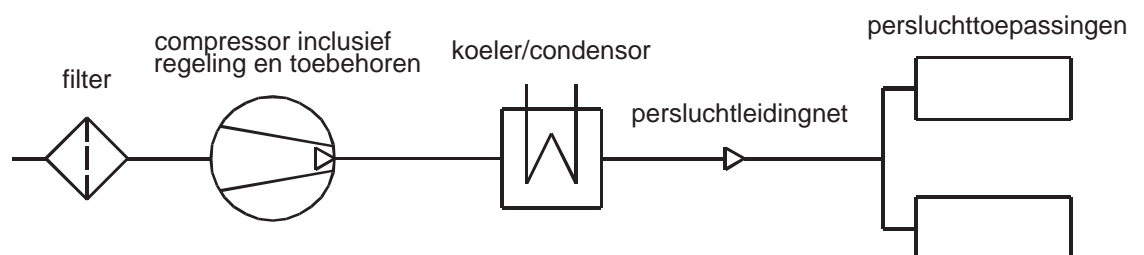
TABEL 1.2 SOORTEN VACUÛM EN DE TOEPASSINGEN ERVAN

soort vacuüm	absolute einddruk in mbar	toepassing
grof	1000 tot 1	heffen en verplaatsen met zuignappen pneumatisch transport van korrels of poeder vacuümverpakken papierpulp en textiel ontwateren impregneren van hout destillatieprocessen in de (petro)chemie
fijn	1 tot 10^{-3}	indampen en vriesdrogen van voedingsmiddelen ontgassing van lampen, tl- en beeldbuizen
hoog	10^{-3} tot 10^{-7}	opdampen van dunne lagen op chips aanbrengen van optische coatings
ultrahoog	$< 10^{-7}$	wetenschappelijk onderzoek

1.4 Opbouw van een persluchtstelsel

In figuur 1.6 zie je een persluchtstelsel. Zo'n systeem heeft de volgende drie componenten:

- compressor met regeling en toebehoren;
- leidingnet;
- persluchttoepassing.



Figuur 1.6 Schema van een persluchtstelsel

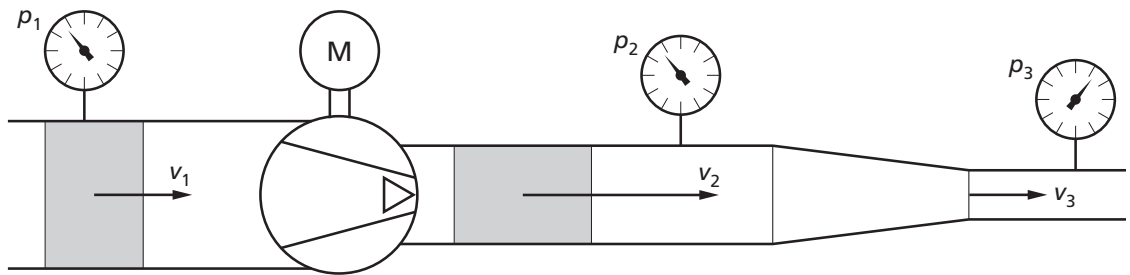
1.4.1 Indeling van compressoren

Bij het comprimeren van lucht of gas zijn twee hoofdmethoden te onderscheiden:

- het verdichterprincipe;
- het verdringerprincipe.

Verdichterprincipe

Bij het verdichterprincipe wordt aan lucht of gas snelheidsenergie toegevoegd met een turbocompressor. In een turbocompressor wordt de mechanische energie van de ventilator volledig omgezet in snelheidsenergie van een hoeveelheid lucht of gas. Het toerental van de ventilator kan daarbij zeer hoog zijn, waardoor er een grote opbrengst ontstaat, zie fig. 1.7. Willen we echter geen hogere snelheid bereiken maar een hogere druk, dan maken we tevens gebruik van een buis die de vorm heeft van een omgekeerde straalbuis.



Figuur 1.7 Turbocompressor met drukverhoger

De snelheid van de perslucht neemt af tot de snelheid v_3 en daarbij neemt de druk toe tot p_3 . Bij de toename van de inwendige energie neemt niet alleen de druk toe, maar ook de temperatuur van de perslucht. Door de dubbele energie-omzetting is uiteindelijk het verlies bij verdichtercompressoren groter dan bij verdringercompressoren.

Verdringerprincipe

Bij het verdringerprincipe wordt de energie overgedragen door het verkleinen van de ruimte waarin zich lucht of gas bevindt. Deze ruimteverkleining (*compressie*) geeft een grotere druk en een hogere temperatuur. Werktuigen die werken volgens dit principe noemen we *compressoren*. Compressoren met het verdringerprincipe verdelen we in twee hoofdgroepen:

- oscillerende (lineaire) compressoren;
- roterende compressoren.

1.5 Oscillerende (lineaire) compressoren

1.5.1 Enkelwerkende zuigercompressoren

In figuur 1.8 zie je twee toepassingen van oscillerende of lineaire compressoren. Figuur 1.8a toont een éencilinder-zuigercompressor in een mobiele uitvoering, zoals die veel in de bouw gebruikt worden. In figuur 1.8b zien we een meercilinder-zuigercompressor met een vaste opstelling, zoals we die in een fabriek kunnen zien.

Een zuigercompressor bestaat uit een cilinder die aan de bovenkant afgesloten is met een cilinderdeksel. In deze cilinder bevindt zich een zuiger, zie figuur 1.9.



a éencilinder-zuigercompressor



b meercilinder-zuigercompressor

Figuur 1.8 Compressoren

De zuiger wordt aangedreven door een kruk-drijfstaangmechanisme. In het cilinderdeksel zijn twee vrij zwevende kleppen gemonteerd: de zuig- en de persklep. Deze twee kleppen openen en sluiten door een drukverschil aan beide zijden van de klep.

Als de zuiger door de krukas naar beneden wordt getrokken, ontstaat door de volumevergroting in de cilinder boven de zuiger een onderdruk.

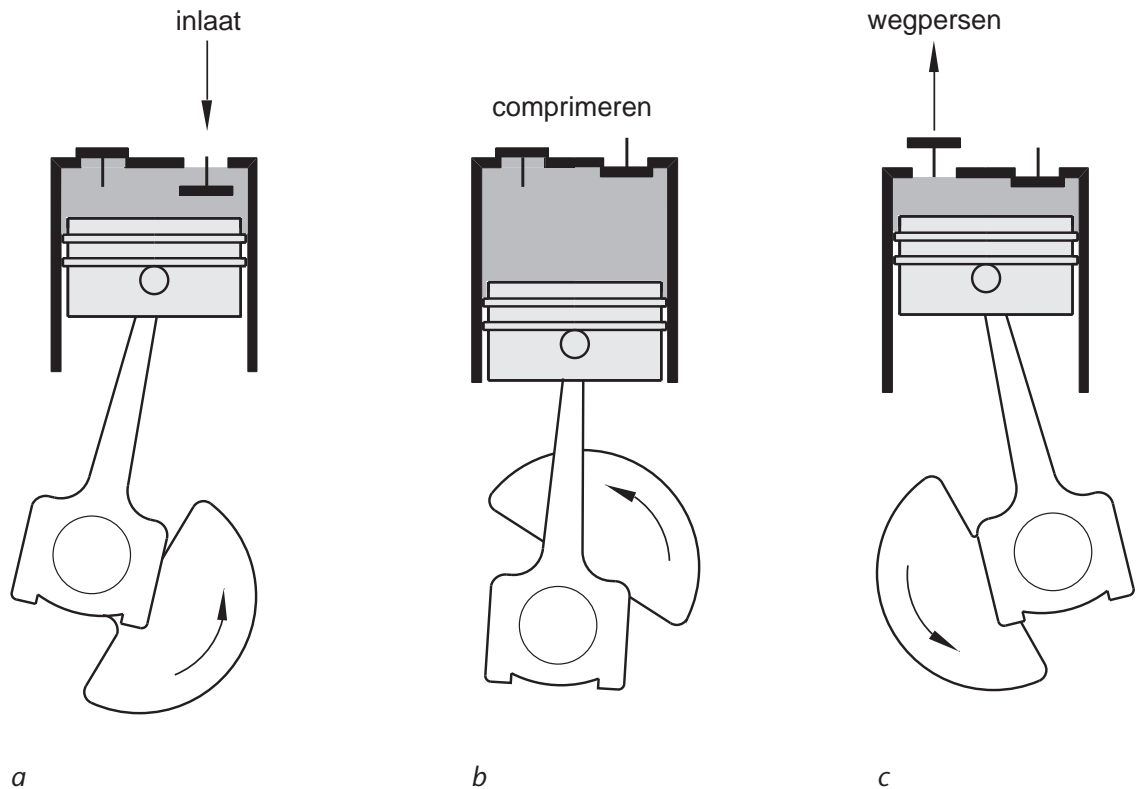
De vrij zwevende zuigklep wordt door de atmosferische druk geopend, waardoor er lucht in de cilinder stroomt. Zie figuur 1.9a.

Wanneer de zuiger zijn onderste stand is gepasseerd, gaat de zuiger naar boven. Door het verkleinen van de ruimte in de cilinder wordt de lucht samengeperst en sluit de zuigklep.

De persklep blijft zolang gesloten tot de druk in de cilinder hoger is dan die in het luchtvat, zie figuur 1.9b. Daarna wordt de lucht via de persklep weggeperst. Zie figuur 1.9c.

Zuigercompressoren verdelen we in twee hoofdgroepen:

- enkelwerkende trunkzuiger-compressoren;
- dubbelwerkende kruishoofd-compressoren.



Figuur 1.9 Schema zuigercompressor

Enkelwerkende trunkzuiger-compressoren

Bij dit type compressor verbinden we met een drijfstang de krukas direct met de trunkzuiger in een cilinder. Er kan alleen *boven* de zuiger compressie plaatsvinden. Vandaar de aanduiding *enkelwerkend*.

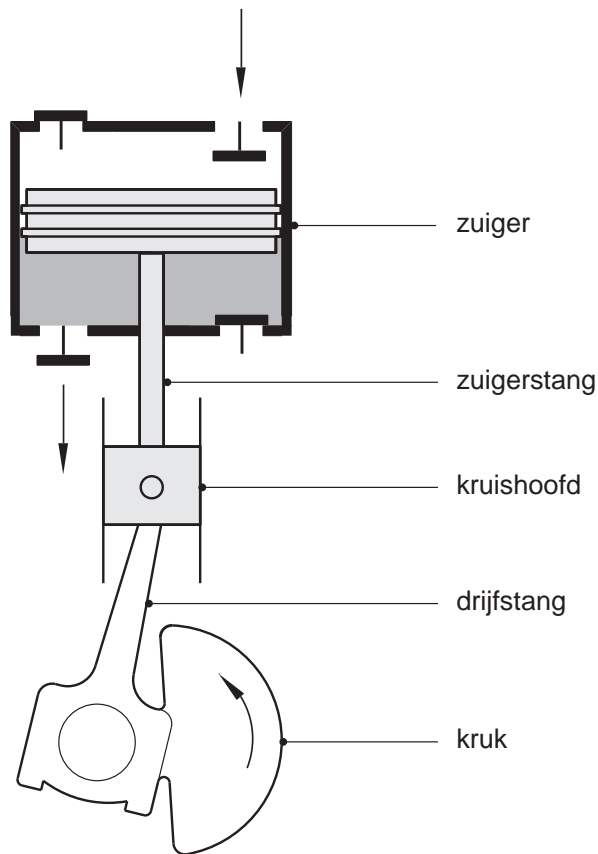
Dit type heeft het nadeel dat de drijfstang een kracht uitoefent op de zuiger.

Daardoor ontstaat er een zijwaartse kracht (*leibaankracht*) op de cilinder van de compressor. Deze zijwaartse kracht geeft slijtage van de zuiger en de cilinder.

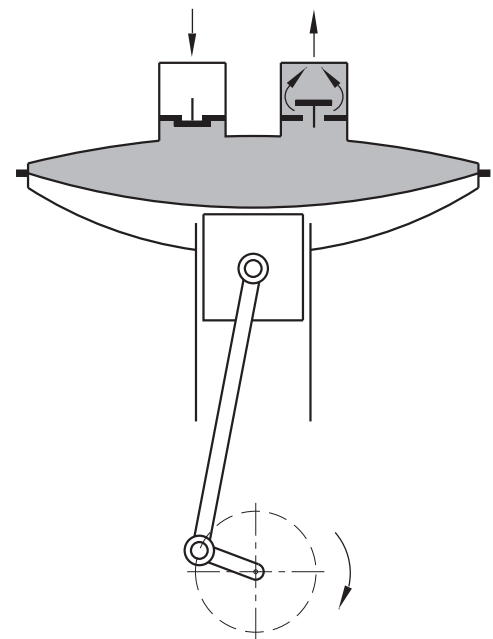
1.5.2 Dubbelwerkende zuigercompressoren

Figuur 1.10 geeft het schema van een dubbelwerkende kruishoofd-compressor.

De zijwaartse kracht van de drijfstang wordt opgevangen door een speciaal geconstrueerde leibaan, die we het *kruishoofd* noemen. Verder zijn zowel onder als boven de zuiger kleppen aangebracht, waardoor we zowel onder als boven de zuiger kunnen comprimeren.



Figuur 1.10 Dubbelwerkende kruishoofd-compressor



Figuur 1.11 Membraancompressor

1.5.3 Membraancompressoren

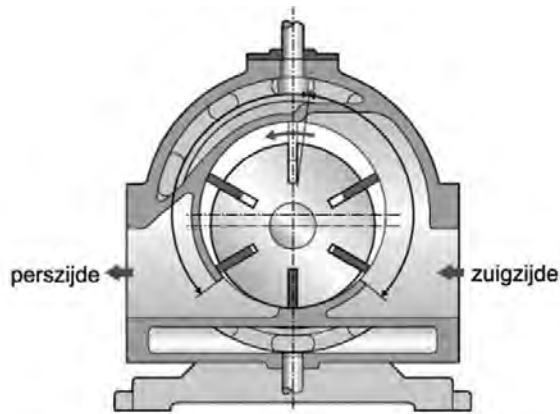
In figuur 1.11 is de zuiger door een membraan gescheiden van de aanzuigrimte. Het voordeel is dat de perslucht hier niet in contact komt met smeermiddel. De lucht blijft olievrij. Daarom passen we dit type compressor vooral in de levensmiddelen-, farmaceutische en chemische industrie toe. Een nadeel is dat de membraancompressor alleen geschikt is voor drukken en capaciteiten die lager zijn dan bij een zuigercompressor.

1.6 Roterende compressoren

1.6.1 Eénassige roterende compressoren

Van dit type compressor gebruiken we alleen nog de *schottencompressor*. Hierbij is een rotor met radiaal bewegende schotten excentrisch in een stilstaand huis gemonteerd. Zie figuur 1.12.

Als de rotor draait, zorgt de centrifugaalkracht ervoor dat de schotten tegen de wand van het huis gedrukt worden.



Figuur 1.12 Schottencompressor

Aan de inlaat stroomt het gas de ruimten tussen de schotten in. Deze ruimten hebben hier een maximale inhoud. Bij het verder draaien van de rotor wordt de ruimte tussen de schotten kleiner, wat het gas comprimeert. Deze compressie gaat door totdat de uitlaat aan de linkerkant in verbinding komt met het gecompriëerde gas. Bij verder draaien van de rotor wordt het gas dan weggeperst via de uitlaat.

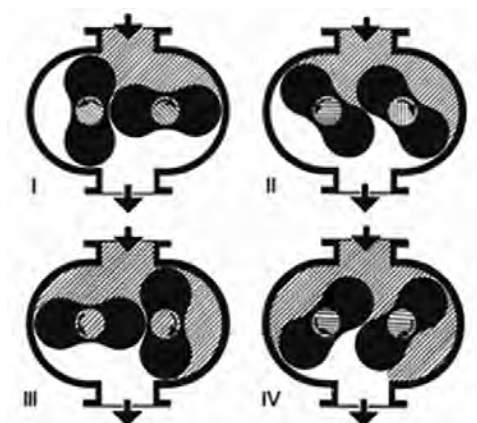
Als de compressor in bedrijf is, ontstaat er wrijving tussen de schotten en de wand van het huis. Daarom is het nodig dat we tussen de schotten en het huis smering toepassen. Het gas is dus niet smeermiddelvrij.

Schottencompressoren zijn eenvoudig van constructie, hebben geen kleppen, zijn zeer bedrijfszeker en vragen weinig onderhoud.

1.6.2 Tweeassige roterende compressoren

Rootsblower

De *Rootsblower* bestaat uit een huis met twee rotors. Figuur 1.13 illustreert de werking. In de compressor wordt het gas verplaatst naar een kleinere ruimte, waardoor de druk wordt vergroot. Omdat de rotors elkaar en het huis niet raken is bij deze compressor geen smering nodig.

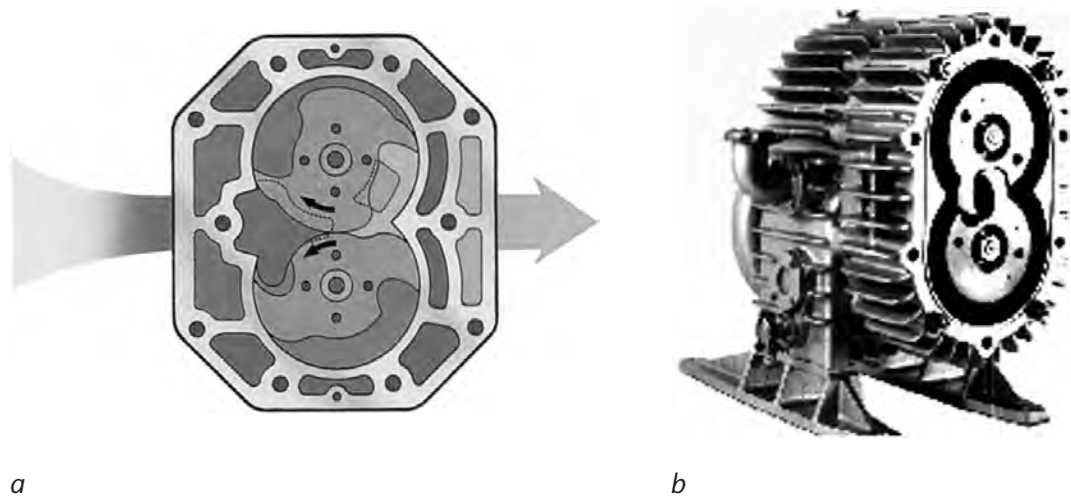


Figuur 1.13 Werking van de Rootsblower

Dit type compressor gebruiken we veel als vacuümpompen en voor installaties die een grote volumestroom gas vragen met een *lage druk*.

Klauwcompressor

Dit type compressor, zie figuur 1.14, noemen we ook wel een *RDL-compressor* (Rotor-Dry-Lobe). Het principe lijkt een beetje op dat van de Rootsblower. In tegenstelling tot de Rootsblower vindt er in het huis van de compressor compressie plaats. Daarom is dit type compressor geschikt om zowel hoge drukken als een grote volumestroom te leveren. Doordat ook bij dit type de klauwrotors elkaar niet raken, is ook hier smering overbodig. De compressor is onderhoudsarm en levert olievrij gas.

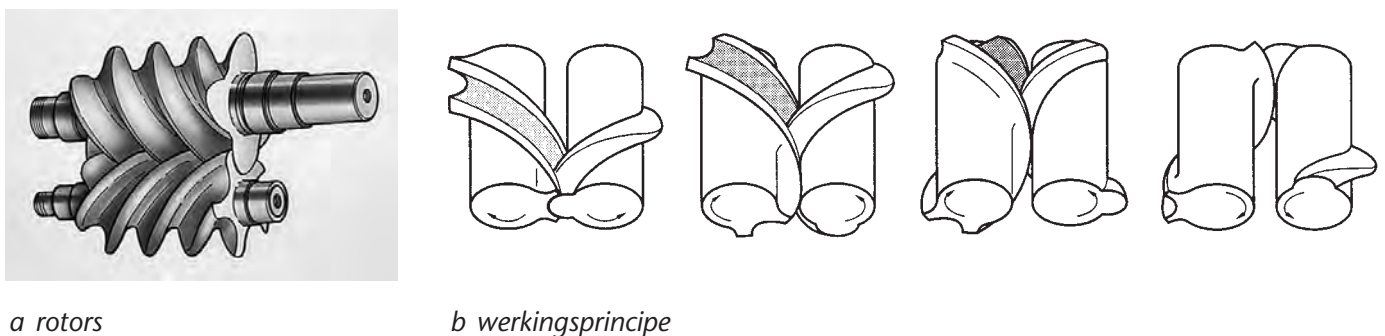


Figuur 1.14 Klauwcompressor

Schroefcompressor

Bij de schroefcompressor bestaat het werkende gedeelte uit twee schroefvormige rotors, die in een huis zijn opgesloten. In figuur 1.15a zie je deze rotors. De zogenoemde *mannelijke rotor* (boven) bestaat uit vier lobben, de *vrouwelijke rotor* bestaat uit vijf groeven. Dit betekent dat de aandrijving zo moet zijn dat de mannelijke rotor sneller draait dan de vrouwelijke.

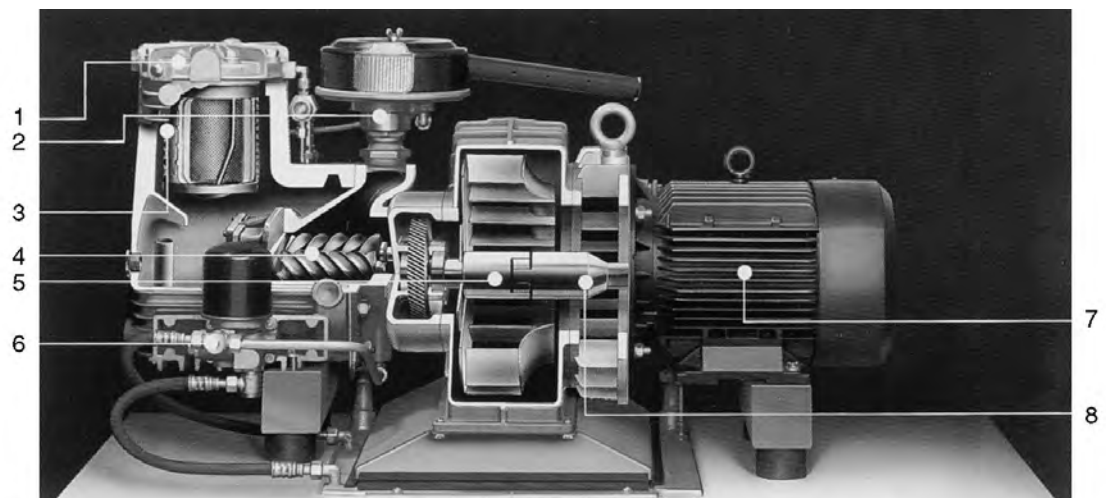
Deze compressor comprimeert tijdens het draaien de lucht in de ruimten tussen de lobben en de groeven.



Figuur 1.15 Schroefcompressor

In figuur 1.15b zie je dat de ruimte steeds kleiner wordt langs de lengterichting van de rotors als deze draaien. Het gas dat toevloeft aan de onderzijde, wordt dus gecomprimeerd als de rotors draaien, en uiteindelijk afgeleverd aan de uitlaatpoort aan de bovenzijde van de compressor. De inlaat- en uitlaatpoort sluiten en openen automatisch met de draaiende rotors.

In figuur 1.16 is de hele installatie van een schroefcompressor te zien. Omdat ook bij deze compressor geen metallisch contact optreedt, wordt er olievrije lucht geleverd.

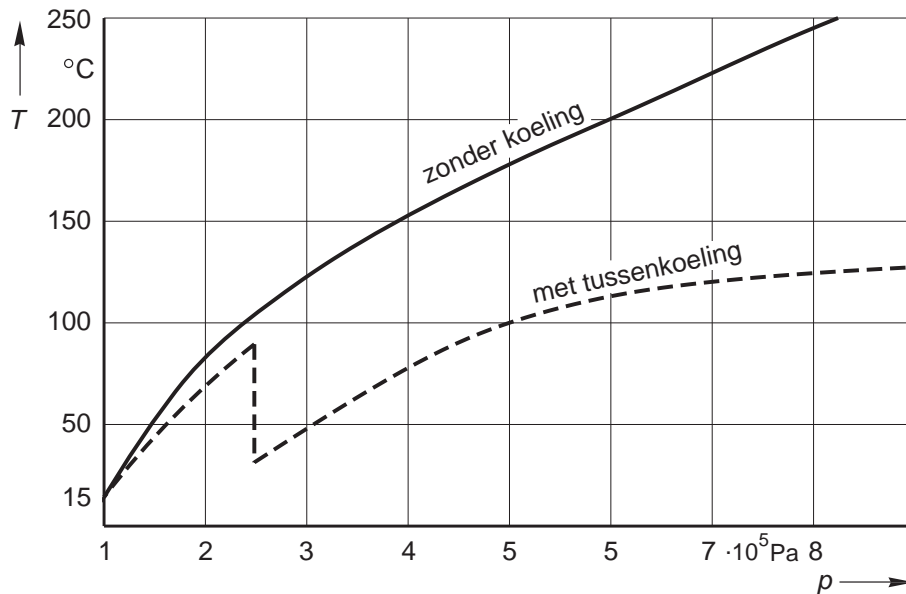


- | | | |
|---------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| 1 perskleppendeksel | 4 schroeven | 7 aandrijfmotor |
| 2 zuigfilter | 5 koppelinghelft compressor | 8 koppelinghelft aandrijfmotor |
| 3 persfilter | 6 oliepersleiding | |

Figuur 1.16 Schroefcompressor-installatie

1.7 Meertrapscompressoren

Bij kleine compressoren met een gering vermogen wordt in één trap gecomprimeerd tot circa $7 \cdot 10^5$ Pa. De koeling van de compressor vindt plaats met behulp van koelribben. Bij grotere compressoren wordt meer warmte ontwikkeld, die moeilijk af te voeren is. Om de warmteontwikkeling te beheersen verdelen we bij grote compressoren de compressie over twee of meer trappen. Na iedere trap wordt de perslucht nagenoeg weer afgekoeld tot de begintemperatuur.



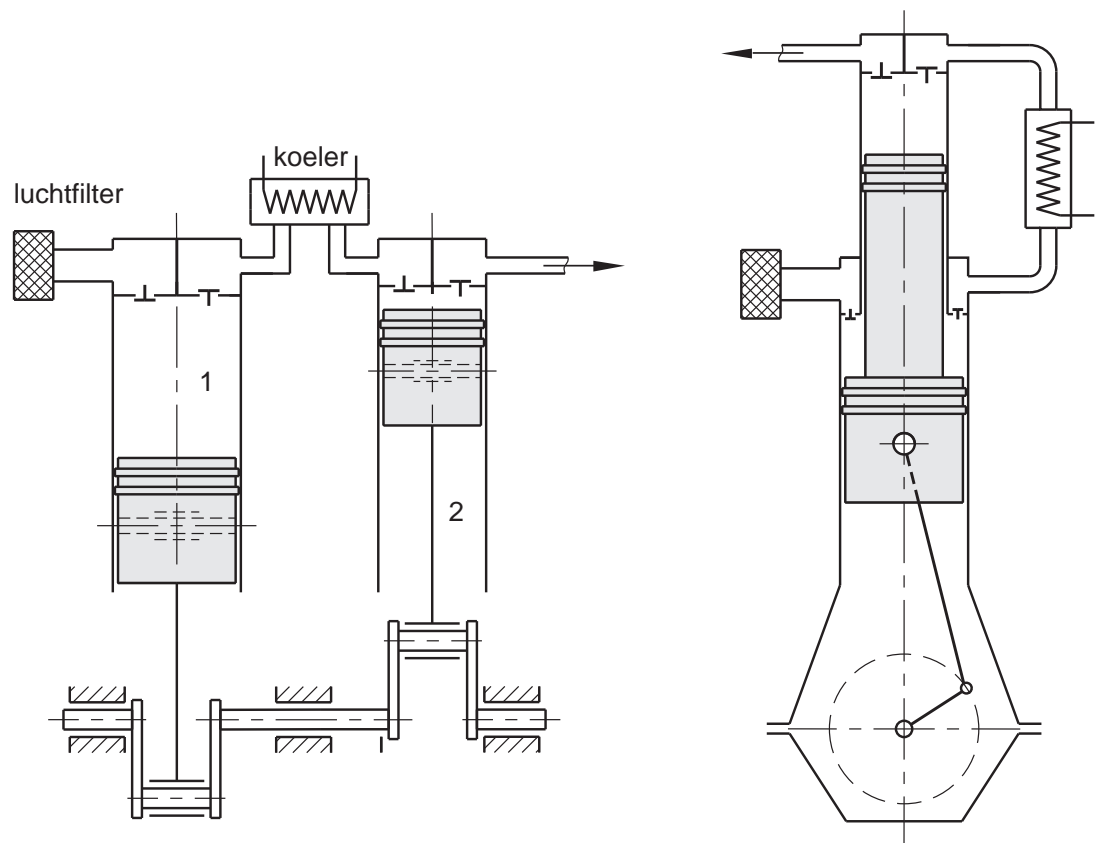
Figuur 1.17 Verloop van de compressietemperatuur bij ééntraps- en tweetrapscompressoren

In figuur 1.17 zien we dat de temperatuur in een ééntrapscompressor tweemaal zo hoog wordt als wanneer we comprimeren in twee trappen met tussenkoeling. Hierdoor wordt de hoeveelheid aangezogen lucht en daarmee het rendement bij een tweetrapscompressor hoger. Een tweede voordeel is dat de smeerolie niet boven de 207 °C komt. De temperatuur waarbij deze zou gaan verdampen.

Figuur 1.18 geeft twee voorbeelden van de werking van een tweetraps-zuigercompressor.

In figuur 1.18a wordt het gas door de eerste trap (cilinder 1) gezogen en samengeperst tot een bepaalde druk. De lucht gaat uit cilinder 1 via een tussenkoeler naar een tweede trap (cilinder 2). Daar wordt het gas dan gecomprimeerd tot de gewenste einddruk. Bij dit systeem plaatsen we dus beide trappen in aparte cilinders, die we naast elkaar aandrijven door een krukas.

In figuur 1.18b zie je een tweetrapscompressor met een getrapte zuiger. Het gas wordt door de onderzuiger aangezogen en via een tussenkoeler naar de bovenste cilinder weggeperst. Hierin bereikt het gas de gewenste einddruk.



a met twee zuigers en koeler

b met getrapte zuiger en koeler

Figuur 1.18 Tweetrapscompressoren

1.8 Compressorkeuze

Elk type compressor wordt voor een bepaald doel gebouwd. Voor persluchtproductie zijn vooral de *schroefcompressor* en de *schottenpomp* zeer geschikt. In de industriële markt wordt de oliegeïnjecteerde 1-traps-schroefcompressor (tot een einddruk van $15 \cdot 10^5$ Pa) veel toegepast. Is olievrije perslucht noodzakelijk, dan kiezen we voor een 2-traps-schroefcompressor. Het nadeel van een 2-traps-schroefcompressor is de hoge investering door de toepassing van twee compressorblokken en tandwielsynchronisatie. Als een nog hogere einddruk gewenst is, wordt meestal gekozen voor een meertraps-zuigercompressor. Tabel 1.3 geeft een vergelijkend overzicht van veelvoorkomende compressoren.

TABEL 1.3 VERGELIJKEND OVERZICHT VAN VEEL VOORKOMENDE COMPRESSOREN

compressortype	persdruk in bar	capaciteit in m ³ /min	type stroming	kenmerken
Rootsblower, drooglopend	1,1–2,5, 1–2-traps	0–1000	sterk pulserend	ongevoelig voor vuil hoog energieverbruik eenvoudige toerenregeling
klauwrotor, drooglopend	0–8	0–8	pulserend	start/stop-regeling hoog toerental
zuigercompressor, oliegesmeerd	1–500, 1–4-traps	0–5	pulserend	gunstig energieverbruik onderhoudsgevoelig lawaaierig
schroefcompressor, oliegesmeerd	15–20–30, 1–2–3-traps	0,8–90	licht pulserend	lage eindtemperatuur geringe slijtage hoger energieverbruik
schottenpomp, oliegesmeerd	4–8, 1–2-traps	0–100	licht pulserend	rustig bedrijf beperkte druk hoog olierestgehalte

1.9 Opbrengstregelingen bij compressoren

Een compressor perst het gecomprimeerde gas meestal weg naar een reservoir of een drukvat. Wanneer in dit reservoir de maximale druk wordt bereikt, moet de compressor dus stoppen met leveren. Bij aandrijvingen met elektromotoren kunnen we voor het regelen van de opbrengst van een compressor kiezen uit de volgende regelsystemen:

- afblaasregeling;
- aan/uit-regeling;
- vollast/nullast-regeling;
- smoring van de aanzuiglucht;
- interne kortsluiting;
- verkleining van het werkzaam slagvolume bij zuigercompressoren;
- toerenregeling van de elektromotor.

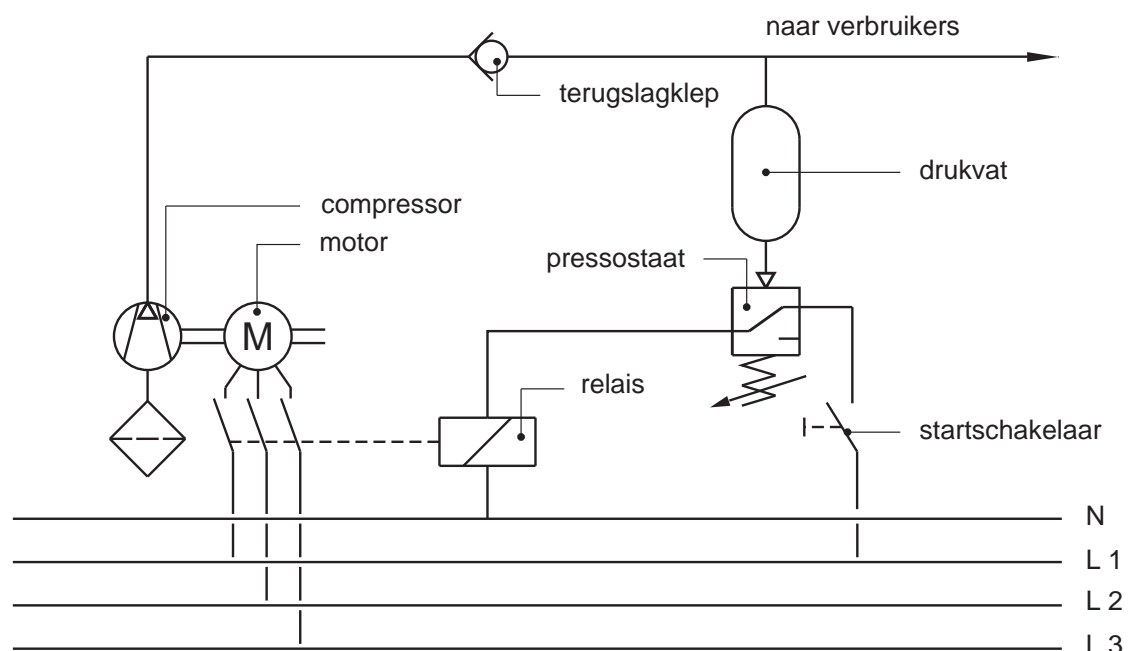
Afblaasregeling

Voor deze regeling wordt een overdrukventiel in de persleiding van het systeem geplaatst. Als de druk in het reservoir te hoog wordt, blaast het ventiel het te veel geproduceerde gas af. Door zijn eenvoud vinden we deze regeling vrij vaak in bijvoorbeeld vrachtauto's.

Aan/uit-regeling

Deze regeling vinden we uitsluitend bij kleine installaties, zoals in kleine werkplaatsen en tandartspraktijken. Op het reservoir is een pressostaat of drukschakelaar aangebracht, die we instellen op een maximale en minimale waarde. Als de druk in het reservoir onder de minimale waarde daalt, start de aandrijfmotor en komt de levering op gang. Bij een te hoge druk schakelt de pressostaat de aandrijfmotor uit. Zie figuur 1.19.

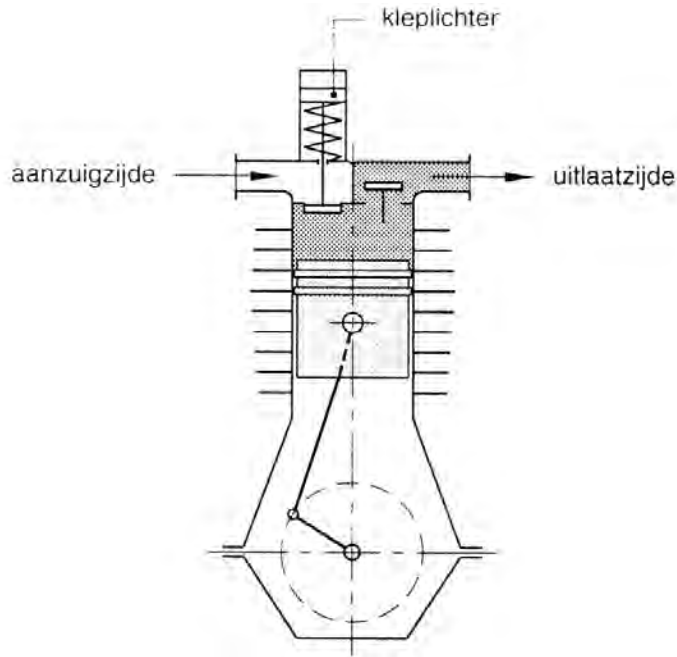
De aan/uit-regeling wordt beperkt door het aantal malen per uur dat een elektromotor ingeschakeld mag worden.



Figuur 1.19 Aan/uit-regeling met pressostaat

Vollast/nullast-regeling

De vollast/nullast-regeling wordt steeds meer toegepast. Bij deze regeling is op de zuigklep van een zuigercompressor een kleplicher aangebracht, die de zuigklep openhoudt als de druk te hoog wordt. Zie figuur 1.20. De installatie loopt gewoon door, maar zuigt geen lucht meer aan en kan dus ook niet leveren (nullast).



Figuur 1.20 Nullastregeling bij een zuigercompressor

Moderne elektronische regelingen maken het mogelijk de tijd waarin de compressor in nullast blijft op een intelligente wijze in te stellen. Deze regelingen vinden we op grotere persluchtinstallatie. Ze werken meestal binnen nauwe drukmarges van 0,2 tot 0,5 bar.

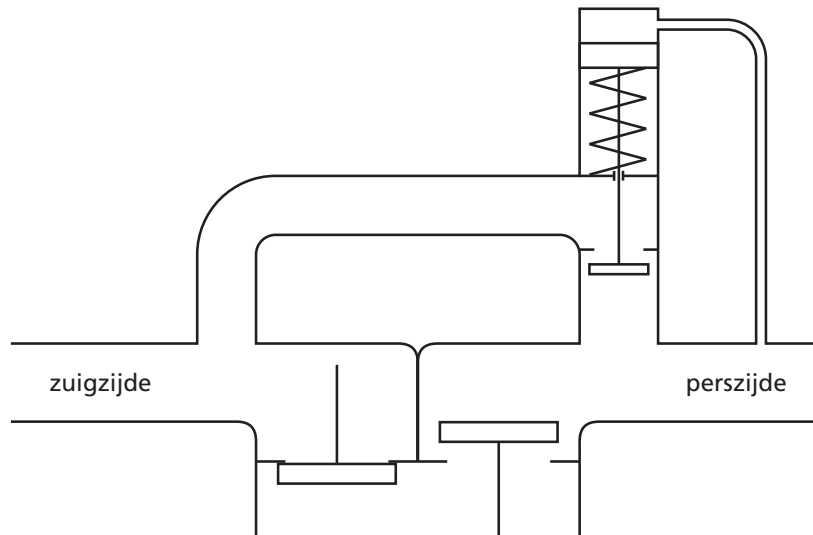
Vaak zullen in een bedrijf meerdere compressoren opgesteld staan. Naast de grotere beschikbaarheid van de persluchtvoorziening heeft een dergelijke opstelling het voordeel dat de compressoren regeltechnisch op elkaar afgestemd worden. Zo kunnen we bij een wisselende persluchtvaart het aantal nullast-uren vaak onder de 20% brengen. Nullast-uren zijn het aantal bedrijfsuren waarin geen perslucht wordt afgenomen.

Interne kortsluiting

Bij de interne kortsluitregeling worden de pers- en zuigleiding door een klep met elkaar verbonden zodra de druk te hoog wordt. Zie figuur 1.21. Ook nu loopt de installatie gewoon, maar deze verplaatst de onder druk staande lucht van de perszijde naar de zuigzijde en draait zo in nullast. De kortsluitregeling kunnen we toepassen op alle typen compressoren.

Verkleining van het werkzaam slagvolume bij zuigercompressoren

In de praktijk worden ook nog regelingen toegepast waarbij de aanzuiging van lucht wordt gesmoord (bij deellast). Zeker als de installatie regelmatig in deellast moet draaien, is het hogere energieverbruik tijdens smoring een groot nadeel.



Figuur 1.21 Interne kortsluitregeling

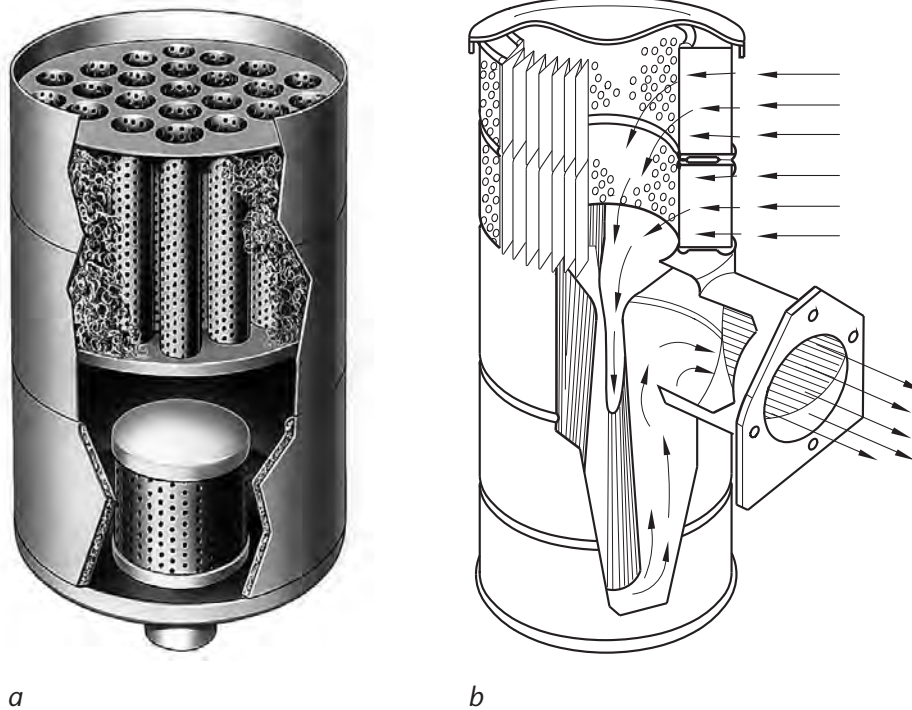
Toerenregeling van de elektromotor

Toerenregeling kan bij een schroefcompressor en een Rootsblower een goede capaciteitsregeling vormen. De volumestroom van deze compressoren is namelijk evenredig met het toerental. Bij compressoren aangedreven door verbrandingsmotoren is een variabel toerental relatief gemakkelijk. Bij compressoren aangedreven door asynchrone elektromotoren wordt het toerental bepaald door de netfrequentie van 50 Hz (3000 omw/min). Bij grotere installaties wordt het toerental soms geregeld door een frequentieregelaar. Een frequentieregelaar zorgt voor de instelling van de gewenste frequentie en daarmee van het toerental van de compressor.

1.10 Compressortoebehoren

1.10.1 Aanzuigfilter

De lucht die een compressor aanzuigt bevat stof en waterdamp. Het stof wordt al opgevangen voordat de compressor de lucht in de compressor aanzuigt. Dit gebeurt door een aanzuigfilter, waarin we meestal een verwisselbaar papieren filterpatroon plaatsen. Verder voorzien we het aanzuigfilter meestal van een geluiddemper, omdat het aanzuigen van de lucht veel lawaai geeft. In figuur 1.22 zie je een doorsnede van zo'n combinatie van filter en geluiddemper.



Figuur 1.22 Filter-geluiddemper

1.10.2 Drukvat

Het drukvat of drukreservoir dient om de druk in het gehele persluchtsysteem stabiel te maken. Het geeft aan het leidingnet voldoende reserve om een wisselende luchtafgifte op te vangen. De omvang van het drukvat is afhankelijk van de luchttopbrengst en de regeling van de compressor. Als vuistregel hanteren we dat bij een aan/uit-regeling de inhoud van het vat in liters overeenkomt met circa 50% van de persluchttopbrengst van de compressor in liters per minuut. Bij een intermitterende (onderbrekende) regeling kunnen we de inhoud van het vat terugbrengen tot circa 15% van de persluchttopbrengst van de compressor.

Het drukvat vangt tevens de van de compressor komende drukstoten op. Om een drukverhoging van meer dan 10% boven de maximale werkdruk te voorkomen moet het drukvat een veiligheidsklep hebben. Er zijn drie groepen drukkvat met verschillende keuringseisen. Zie tabel 1.4.

TABEL 1.4 KEURINGSEISEN VOOR DRUKVATEN

groep	druk in bar × volume in liter	keuringseisen
A	$p \times V < 20$	geen
B	$20 < p \times V < 3000$	één keuring
C	$p \times V > 3000$	regelmatige keuring en een drukproef om de 6 jaar, inclusief inspectie van de binnenkant van het drukvat

1.10.3 Waterafscheider

Het drukvat heeft als voordeel dat door de grote oppervlakte ervan de perslucht wordt afgekoeld. Een gedeelte van de in de perslucht aanwezige vocht wordt als condensaat afgezet. Dit betekent wel dat de in het drukvat aanwezige perslucht verzadigd is met waterdamp. De aanwezige waterdamp kan grote schade aanrichten in het pneumatisch systeem.

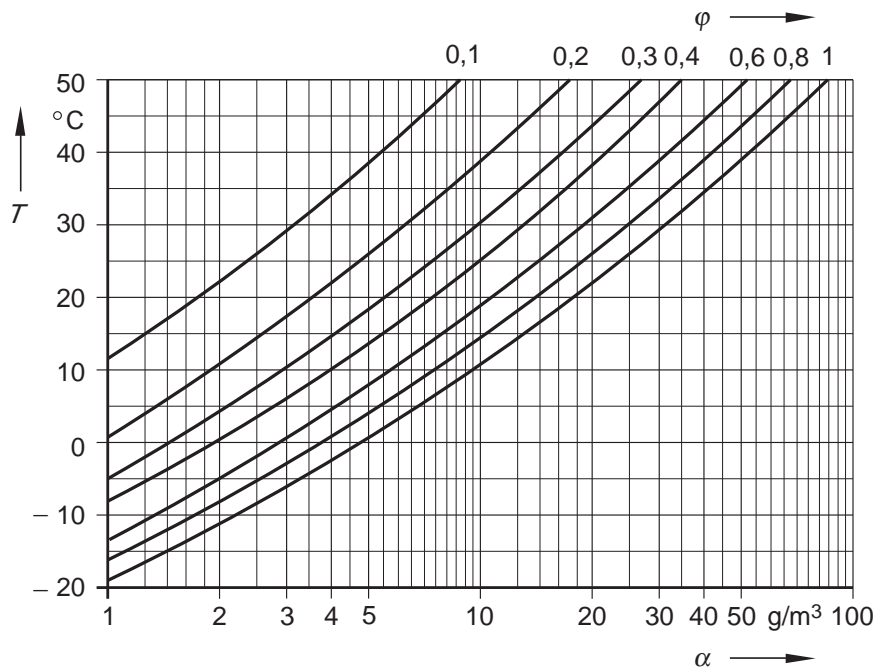
De hoeveelheid waterdamp die in de lucht aanwezig is, kan variëren van vrijwel nul (droge lucht) tot een maximale hoeveelheid (de verzadigingshoeveelheid). Bevat de lucht in een bepaalde ruimte meer vocht dan de verzadigingshoeveelheid, dan condenseert de overtollige hoeveelheid tegen bijvoorbeeld de ramen. In dat geval spreken we van een *relatieve vochtigheid* van 100%.

Nu is er voor elke temperatuur van de lucht een verzadigingshoeveelheid van de waterdamp. De hoeveelheid vocht in de lucht kunnen we meten met een zogenoemde *hygrometer*. Deze wijst een relatieve vochtigheid aan. Dit is de verhouding tussen de absolute (werkelijk in de lucht aanwezige) hoeveelheid vocht en de hoeveelheid die bij een bepaalde temperatuur maximaal aanwezig kan zijn. De relatieve vochtigheid φ is dus:

$$\varphi = \frac{\text{absolute vochtigheid}}{\text{verzadigingshoeveelheid}}$$

In figuur 1.23 is in een grafiek de hoeveelheid water (α) in gram/m³ aangegeven die in lucht aanwezig kan zijn bij een bepaalde temperatuur T en relatieve vochtigheid φ .

We kunnen hieruit bijvoorbeeld aflezen dat bij een relatieve vochtigheid van $\varphi = 0,6$ (= 60%) en een temperatuur van 20 °C er 10,6 gram/m³ waterdamp in de lucht aanwezig is.



Figuur 1.23 Relatieve vochtigheid

De relatieve vochtigheid van lucht is niet afhankelijk van de druk. Hierdoor is in de gecomprimeerde lucht die de compressor verlaat meer waterdamp aanwezig dan de verzadigingshoeveelheid.

Omdat de temperatuur van de gecomprimeerde lucht hoog is, condenseert deze waterdamp niet direct. In het drukvat koelt de lucht eerst af, daarna condenseert de overtollige waterdamp. Het condensaat kunnen we aan de onderkant van het drukvat aftappen.

VOORBEELD 1

Gegeven

Een compressor zuigt lucht aan met een temperatuur van $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. De relatieve vochtigheid $\phi = 0,8$. De aanzuigdruk $p_1 = 0,95 \cdot 10^5\text{ Pa}$ en de einddruk $p_2 = 7 \cdot 10^5\text{ Pa}$. Verder is figuur 1.24 gegeven.

Gevraagd

Bepaal de hoeveelheid condensaat die ontstaat na het comprimeren van de lucht.

Oplossing

Uit figuur 1.24 lezen we af dat in 1 m^3 aangevoerde lucht een massa van 14 g waterdamp aanwezig is, zie punt A. Na de compressie en het afkoelen tot $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ is het volume verkleind tot:

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$$

$$0,95 \cdot 10^5 \text{ Pa} \times 1 \text{ m}^3 = 7 \cdot 10^5 \text{ Pa} \times V_2 \rightarrow V_2 = 0,1357 \text{ m}^3$$

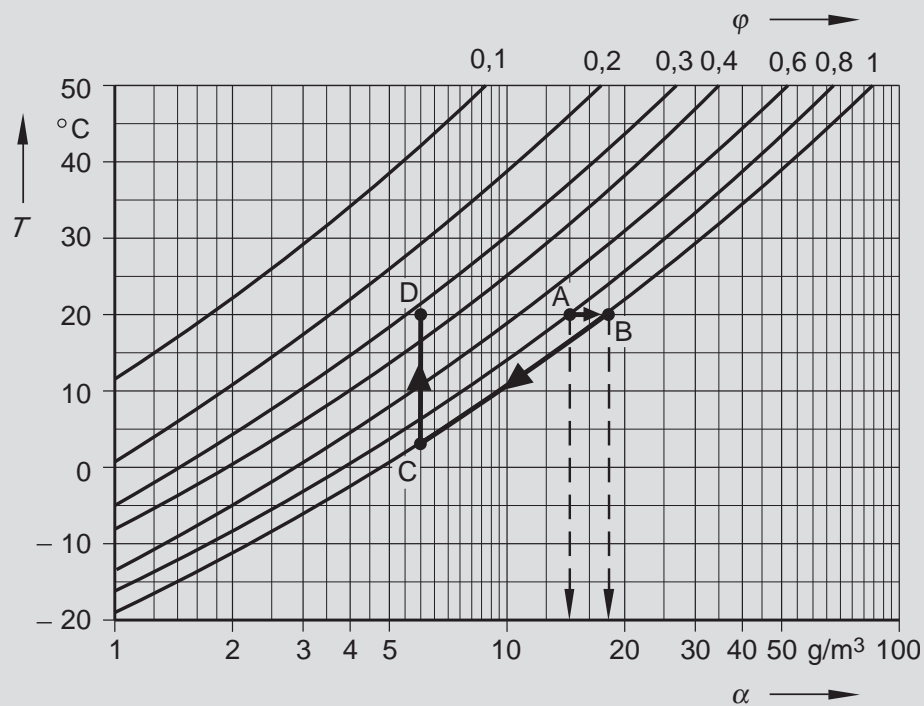
In deze $0,1357 \text{ m}^3$ is dus een massa van 14 gram waterdamp aanwezig. Bij een temperatuur van $20 \text{ }^\circ\text{C}$ kan maximaal 18 g/m^3 waterdamp aanwezig zijn, zie punt B in figuur 1.27. In $0,1357 \text{ m}^3$ kan dus maximaal aanwezig zijn:

$$0,1357 \times 18 = 2,4 \text{ g waterdamp.}$$

De hoeveelheid waterdamp die condenseert is dus:

$$14 - 2,4 = 11,6 \text{ g.}$$

Conclusie: per m^3 aangezogen lucht ontstaat 11,6 g condensaat.



Figuur 1.24

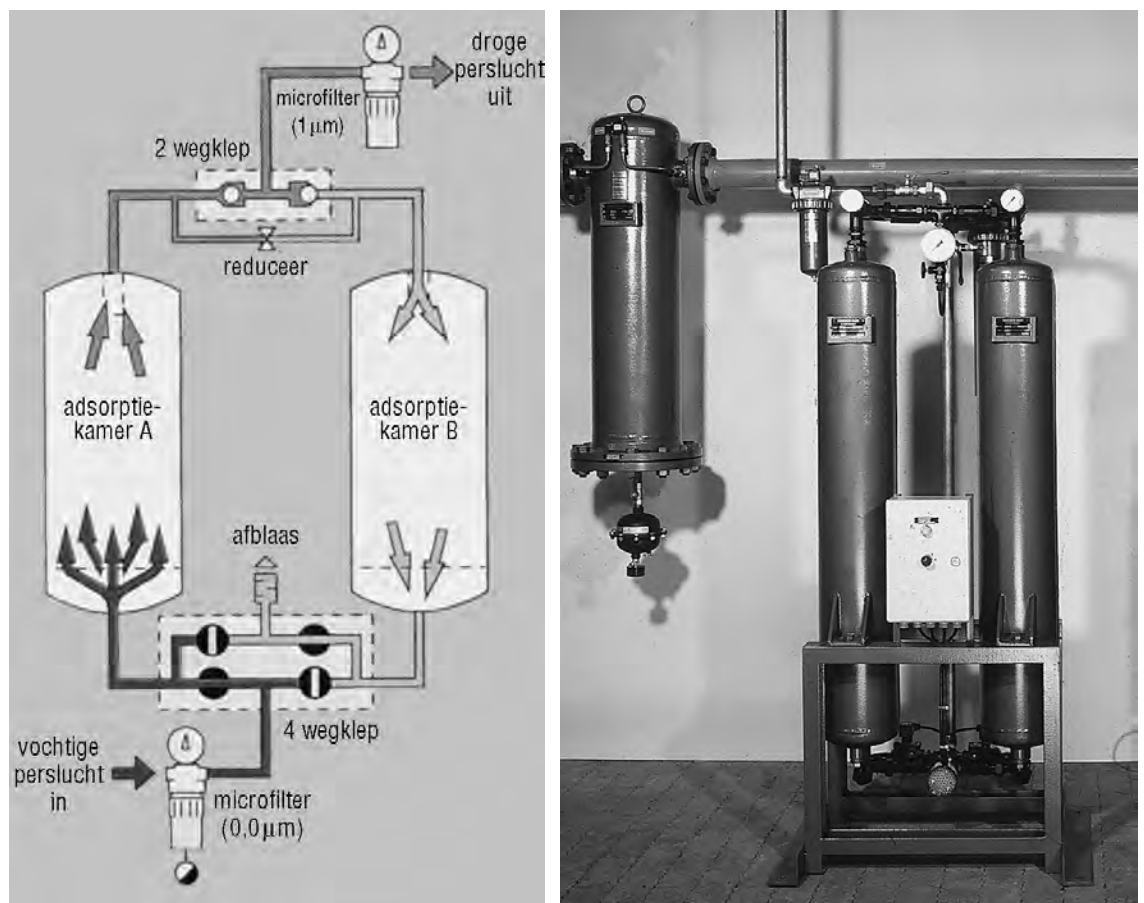
Voor het verwijderen van de verzadigde waterdamp uit de perslucht zijn er verschillende mogelijkheden. We kunnen met speciale absorberende middelen de waterdamp opvangen, maar de meest toegepaste methode is de zogenaamde koeldroging.

1.10.4 Adsorptiedroger

Als we een persluchtleidingnet geheel of gedeeltelijk in de open lucht plaatsen, dan gaat de waterdamp van de lucht in de leidingen bij lage temperaturen condenseren en eventueel zelfs bevriezen. Dit veroorzaakt verstoppingen en corrosie (roestvorming).

Om dit te voorkomen kunnen we de lucht drogen met de zogenoemde *adsorptiedroger*. Hierbij voeren we de lucht door een vloeistof adsorberende stof, die al het in de lucht aanwezige water opneemt. Als adsorberende stof kan silicagel (SiO_2) of actief aluminium (Al_2O_3) dienen.

Het probleem is dat deze adsorberende stof met water verzadigd raakt. Om dit op te lossen nemen we in een dergelijke droger een regeneratie-eenheid op. De werking van dit droogstelsel leggen we uit aan de hand van figuur 1.25.



Figuur 1.25 Adsorptiedroger

De adsorptiedroger bestaat in principe uit twee adsorptiekamers, A en B. Deze kunnen we inschakelen met kleppen.

In de figuur gaat de vochtige perslucht via een microfilter naar de adsorptiedroger. Hierbij passeert de lucht eerst een vierwegklep, waarna deze in adsorptiekamer A terechtkomt. Daar neemt de adsorberende stof de waterdamp op. Vervolgens gaat de droge lucht naar het persluchtnet via een tweewegklep en een tweede microfilter.

Terwijl adsorptiekamer A in gebruik is, drogen we adsorptiekamer B (*regenereren*). Daartoe verlagen we via een reduceerventiel de druk van een deel van de droge lucht uit kamer A, en voeren deze lucht door kamer B.

Eerder, toen kamer B in gebruik was, had de adsorberende stof daar waterdamp geabsorbeerd. De droge lucht van lage druk die we nu uit kamer A toevoeren, neemt dit water echter weer op. Via een afblaassysteem voeren we deze lucht af naar de buitenlucht.

Bij het verzadigd raken van kamer A maken we met de vierwegklep kamer B actief, zodat we nu kamer A kunnen regenereren.

Een nadeel van dit systeem is dat een gedeelte van de perslucht weer naar de buitenlucht wordt afgevoerd.

1.10.5 Koeldroger

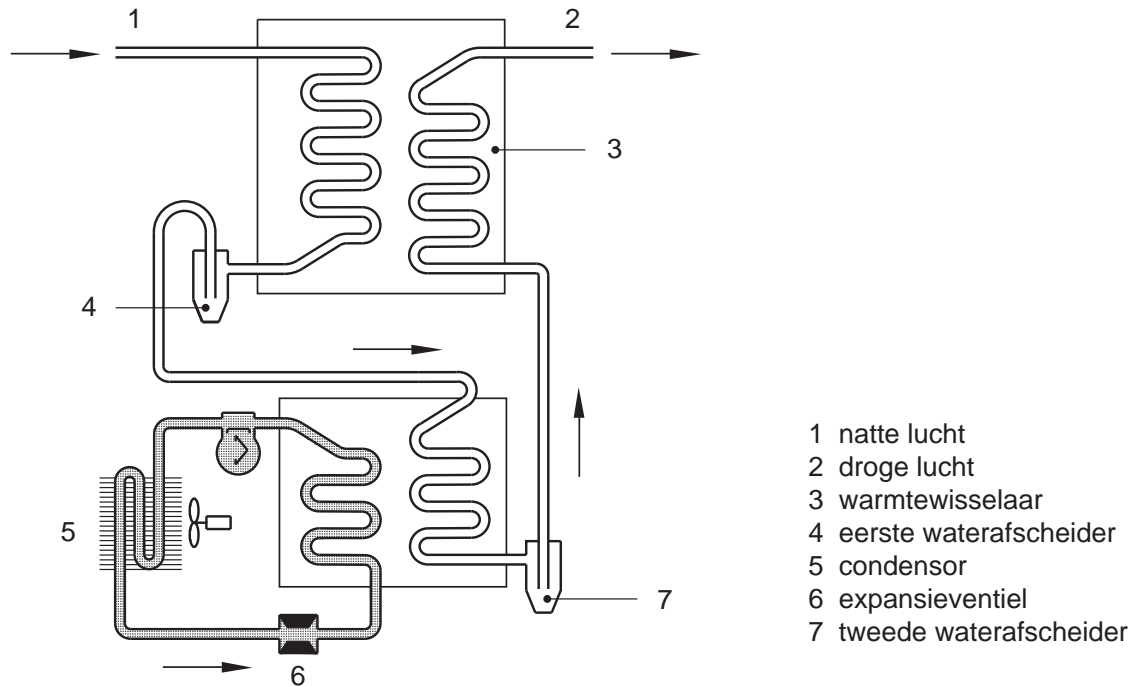
Voor leidingsystemen in gebouwen waar de temperatuur niet beneden het vriespunt daalt, passen we meestal koeldrogers toe. Zie figuur 1.26a. In figuur 1.26b zien we een schema van een koeldroger.

De natte lucht (1) passeert op zijn weg naar de eigenlijke koeldroger eerst een warmtewisselaar (3). Daar wordt een gedeelte van de warmte in de lucht afgevoerd. Ook passeert het een waterafscheider (4).

De werking van de koeldroger is net als die van een gewone koelkast. Hierin wordt de lucht tot minimaal 2 °C gekoeld. Bijna alle waterdamp condenseert hier en die wordt opgevangen in de waterafscheider (7). Zie ook figuur 1.24, de lijn B-C. De warmtewisselaar (3) verwarmt vervolgens de lucht, die daarna weer in het systeem terechtkomt. Zie figuur 1.24, punt D.



Figuur 1.26a Toepassing koeldroger



Figuur 1.26b Schema koeldroger

1.11 Persluchtelingen

1.11.1 Het hoofdleidingnet

Het persluchtleidingnet kunnen we verdelen in een hoofdleidingnet en de verbindingen naar de verbruikers.

Bij de aanleg van een pneumatisch hoofdleidingsysteem moeten we met een aantal zaken rekening houden en bepaalde keuzes maken.

Zo kunnen we een ruimte of een bedrijf of een school van perslucht voorzien met een *ringleiding* of een *doodlopende leiding*. Aan deze leidingen worden dan de *aftakleidingen* naar de verbruikers vastgemaakt. Meestal bepaalt de vorm van de ruimte(s) de keuze tussen deze twee mogelijkheden. We passen meestal een ringleiding toe als de verbruikerspunten ver uit elkaar liggen.

De ringleiding heeft als voordeel dat hiervoor leidingen met een kleinere middellijn kunnen worden aangelegd. We kunnen dit net op bepaalde plaatsen voorzien van afsluiters. Bij leidingbreuk of vervanging van het leidingnet hoeft dan niet het hele persluchtsysteem buiten werking te worden gesteld.

We kunnen ook kiezen voor een doodlopende leiding, wanneer de verbruikerspunten dicht bij elkaar liggen.

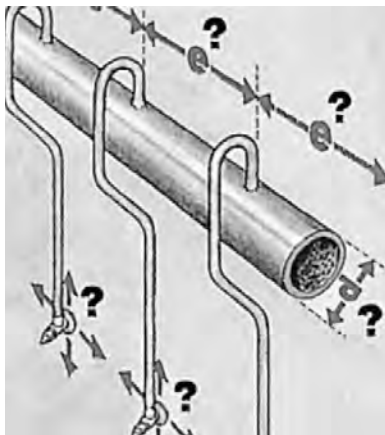
Bij beide systemen moeten we er rekening mee houden dat persluchtelingen aan temperatuurwisselingen kunnen blootstaan. De leidingen moeten zodanig gemonteerd worden dat ze vrij kunnen uitzetten.

Bij beide systemen is het mogelijk om gedurende een korte tijd een grote luchtlevering te krijgen door in de leiding een *buffervat* te plaatsen. Hierdoor is het mogelijk om pieken in de luchtafname te overbruggen. De lucht zal rustiger uit het net in het buffervat nastromen en de drukval in het net zal kleiner worden.

In de hoofdpersluchtleiding moeten aftappunten worden aangebracht om de verbruikers van lucht te voorzien. In de voorgaande paragrafen is al gesproken over het verschijnsel van vocht in de samengeperste lucht. Het is natuurlijk aan te bevelen om het vocht dat in de leiding ontstaat, niet in de verbruikerspunten te krijgen.

In figuur 1.27a zien we hoe we een aftakking op een hoofdleiding kunnen maken om te zorgen dat er geen water in de aftakleiding naar de luchtverbruikende installatie kan stromen. Ook is het zinvol om een leiding een beetje afschot te geven naar een bepaald laag punt.

Verder is het aan te bevelen op deze punten condensataaftapinstallaties te plaatsen om het eventueel gevormde water af te tappen. De condensataaftap, zie figuur 1.27b, kan uitgevoerd zijn met een vlotterinstallatie die bij een bepaald waterniveau automatisch opent, of met een besturing die ervoor zorgt dat het water na een ingestelde tijd wordt afgetapt.



a aftakking



b condensataaftap

Figuur 1.27

Een persluchtleidingsysteem wordt opgebouwd uit stalen pijpen, roestvaststalen pijpen, koperen pijpen, kunststof pijpen of speciaal hiervoor geëxtrudeerde aluminium profielen, afhankelijk van de toepassing van het persluchtsysteem. Stalen pijpen zijn verkrijgbaar in verschillende uitvoeringen. Voor drukken lager dan $10 \cdot 10^5$ Pa gebruiken we stalen pijpen die genormaliseerd zijn volgens DIN 2440 en voor drukken hoger dan $10 \cdot 10^5$ Pa pijpen volgens DIN 2391C.

Meestal zal men om roestvorming te voorkomen gebruikmaken van gegalvaniseerde stalen pijpen. Voor het verbinden van stalen pijpen tot een leidingsysteem gebruiken we lastechnieken of gefitte verbindingen, waarbij gebruik wordt gemaakt van schroefdraad. In figuur 1.28 is een aantal verbindingsmogelijkheden weergegeven, zoals T-stukken, bochten en koppelingen.



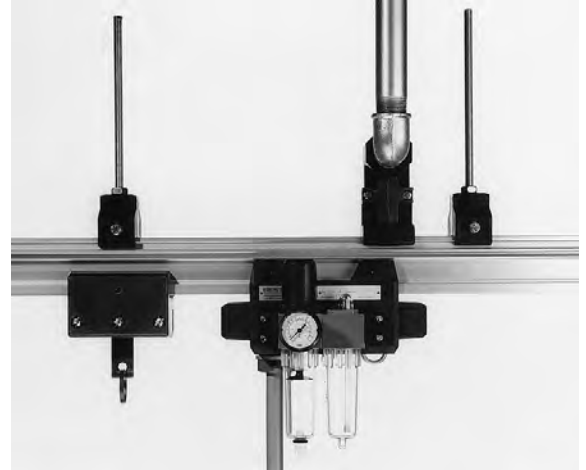
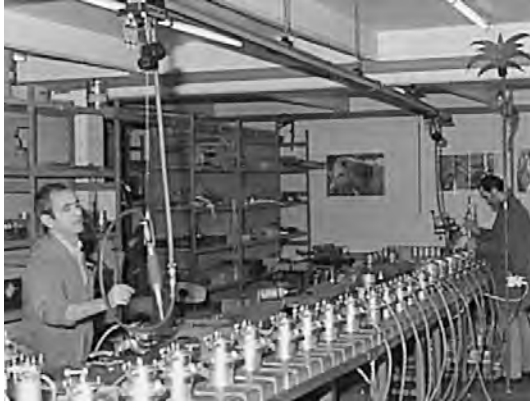
Figuur 1.28 Verbindingsmogelijkheden voor stalen pijpen

Het lassen voor het verbinden van leidingen heeft als nadeel dat hierdoor roestvorming aan de binnenzijde van de pijp ontstaat. Ook kunnen vuildeeltjes in de leiding achterblijven die met de luchtstroom worden meegenomen en schade toebrengen aan de ventielen of uitvoerorganen. Bij de gefitte systemen heeft men van dergelijke problemen weinig last.

De toepassing van koperen pijpen heeft het voordeel dat roestvorming wordt voorkomen. Ook is de montage van het leidingsysteem eenvoudiger, omdat de verbindingen gesoldeerd worden. Door de gladde binnenzijde van deze pijpen is de stromingsweerstand relatief gering. Koperen pijpen zijn natuurlijk wel duurder dan stalen pijpen.

Kunststof pijpen hebben het voordeel dat ze gemakkelijk gemonteerd kunnen worden: de verbindingen worden gelijmd. De binnenkant van kunststof pijpen is zeer glad, zodat de stromingsweerstand heel klein is. Doordat kunststof pijpen gemakkelijk doorbuigen, zijn veel meer ophangbeugels nodig dan bij andere systemen. Ook is het gevaar aanwezig dat door onoordeelkundig gebruik van het leidingsysteem de leidingen kunnen barsten.

De speciaal geëxtrudeerde profielen worden meestal gebruikt in doodlopende hoofdleidingsystemen waar veel aansluitpunten nodig zijn. Ook kunnen Montagelijnen waar pneumatisch gereedschap wordt gebruikt, worden uitgevoerd met zogenoemde Besta-rails. In figuur 1.29 zien we een voorbeeld van een dergelijk systeem.



Figuur 1.29 Leidingsysteem van geëxtrudeerd aluminium

Het aluminium profiel heeft een zodanige doorsnede dat hierover een wagentje kan worden bewogen. Aan dit wagentje worden voorzieningen aangebracht waarmee lucht naar een bepaalde toepassing kan worden getransporteerd. Zo kan bijvoorbeeld een flexibele slang met een snelkoppeling worden gemonteerd, waaraan een gereedschapswerktuig kan worden vastgemaakt. Aan de onderzijde van het aluminium profiel zijn op bepaalde afstanden koppelplaten aangebracht waar het wagentje naartoe kan worden getrokken. Wanneer de slang wordt losgelaten, zal de koppeling automatisch totstandkomen. Ten opzichte van een conventioneel systeem is het Besta-railsysteem ergonomisch in gebruik.

1.11.2 Verbindingen naar verbruikers

Voor het aankoppelen van een installatie of gereedschappen die pneumatische energie nodig hebben, gebruiken we meestal slangen. Hiervoor bestaan verschillende mogelijkheden, afhankelijk van de toepassing. Voor het koppelen van een installatie op een hoofdleidingsysteem gebruiken we meestal *aansluitslangen*. Zie figuur 1.30. Deze slangen kunnen de trillingen die in de installatie worden opgewekt, isoleren ten opzichte van het hoofdleidingsysteem.



Figuur 1.30 Aansluitslang

Voor het aansluiten van gereedschap op een hoofdleidingsysteem kunnen we gebruikmaken van rubber of kunststof slangen. Zie figuur 1.31a. Rubber slangen worden meestal toegepast wanneer grote hoeveelheden lucht over grote afstanden moeten worden verplaatst. Hierbij kiezen we voor een koppeling met een grote doorlaat, de zogenoemde *klauwkoppeling*.

In figuur 1.31b zijn klauwkoppelingen afgebeeld met de bijbehorende *slangpilaar*, waarmee de koppeling op de slang wordt vastgemaakt.



a rubber slang



b klauwkoppeling

Figuur 1.31

Voor het aansluiten van persluchtgereedschap gebruiken we meestal nylon of kunststof slangen. Deze slangen zijn verkrijgbaar met diverse middellijnen. De slangen worden met *snelkoppelingen* vastgemaakt aan een aftakking van het hoofdleidingsysteem en aan het gereedschap. Hierbij gebruiken we eerst slangpilaren die in de slang worden geschoven, waarna ze worden vastgezet met slangklemmen. Op deze slangpilaren wordt de snelkoppeling gemonteerd. In figuur 1.32 zie je voorbeelden van slangen, slangpilaren en slangklemmen.



Figuur 1.32 Slangen, slangpilaren en slangklemmen

Snelkoppelingen bestaan in principe uit twee gedeelten: de koppeling en een nippel. De verbinding komt tot stand door de nippel, die is vastgemaakt aan de slang, in de koppeling te schuiven. Het ontkoppelen gebeurt door een ring op de koppeling omhoog te schuiven, waarna de nippel uit de koppeling schuift. In figuur 1.33 zien we een snelkoppeling met nippel.



Figuur 1.33 Snelkoppeling met nippel

Een nadeel bij dit soort koppelingen is dat de slang tijdens het ontkoppelen onder druk staat. Daardoor kan na het ontkoppelen de slang snel leeglopen, zodat deze kan gaan 'slaan'. Omdat daardoor verwondingen kunnen ontstaan, is de zogenoemde *veiligheidskoppeling* ontwikkeld. Bij deze koppeling is een knop aangebracht, die bij het ontkoppelen twee keer moet worden ingedrukt. De

eerste indrukking heeft tot gevolg dat het slanggedeelte wordt ontluicht, waarna bij een tweede indrukking de nippel uit de koppeling zal glijden. In figuur 1.34 zie je een veiligheidskoppeling. De conventionele koppeling en de veiligheidskoppeling hebben dezelfde nippels.



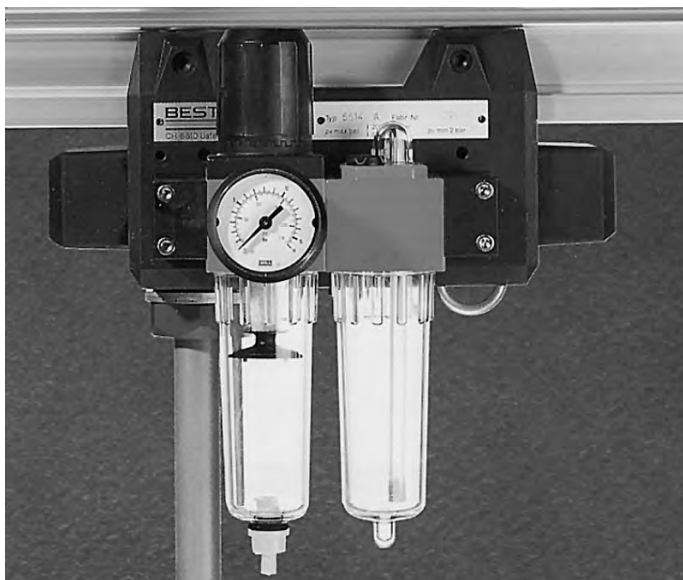
Figuur 1.34 Veiligheidskoppeling

1.11.3 Conditioneringseenheid

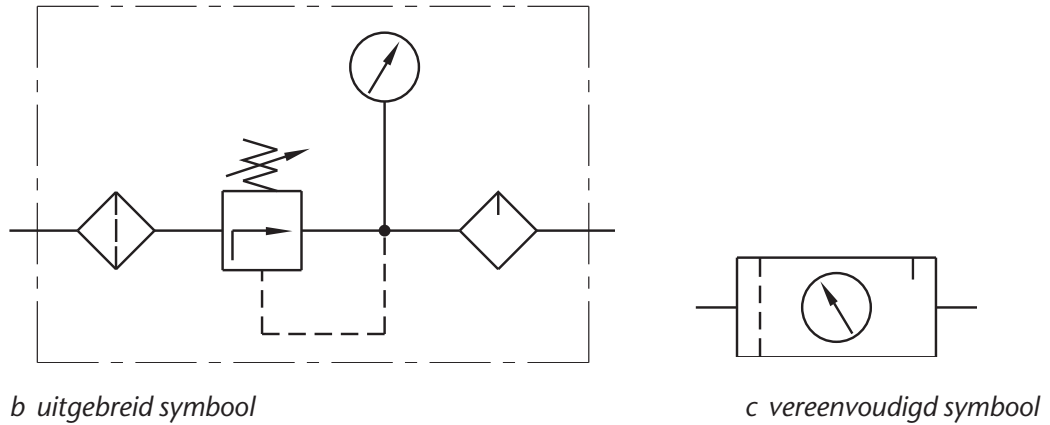
Voordat de perslucht uit het leidingsysteem aan een pneumatische installatie wordt toegevoegd, wordt deze door een *conditionerings-* of *verzorgingseenheid* geleid, zie figuur 1.35.

Een conditioneringseenheid is een combinatie van:

- een persluchtfilter;
- een reduceerventiel;
- een smeertoestel.



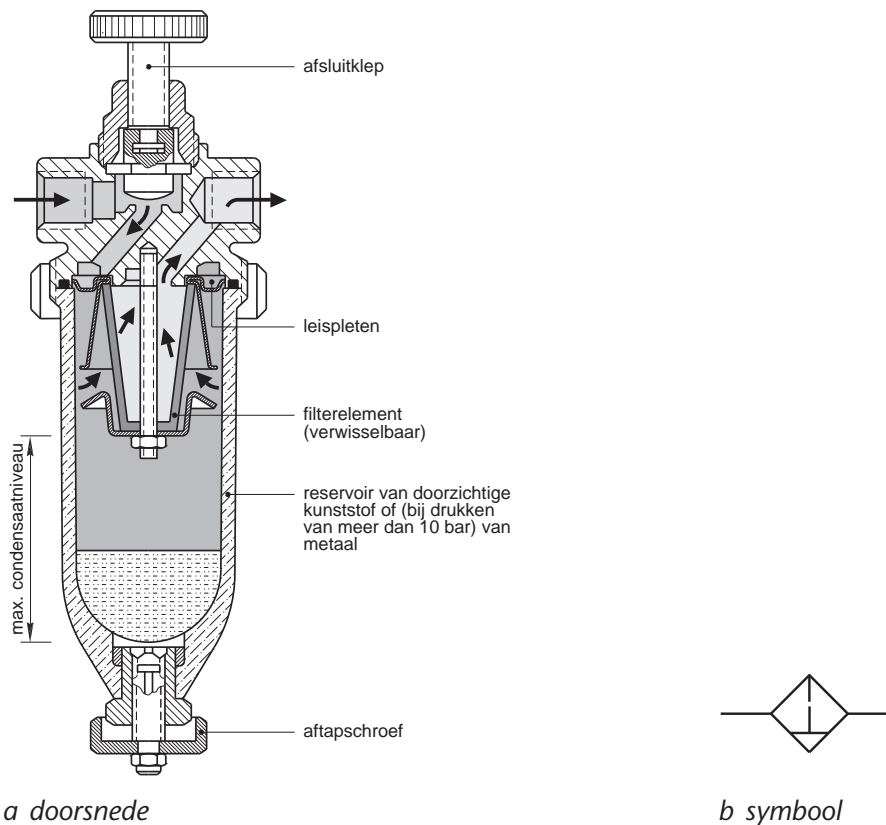
a uitvoering



Figuur 1.35 Conditioneringseenheid

Persluchtfilter

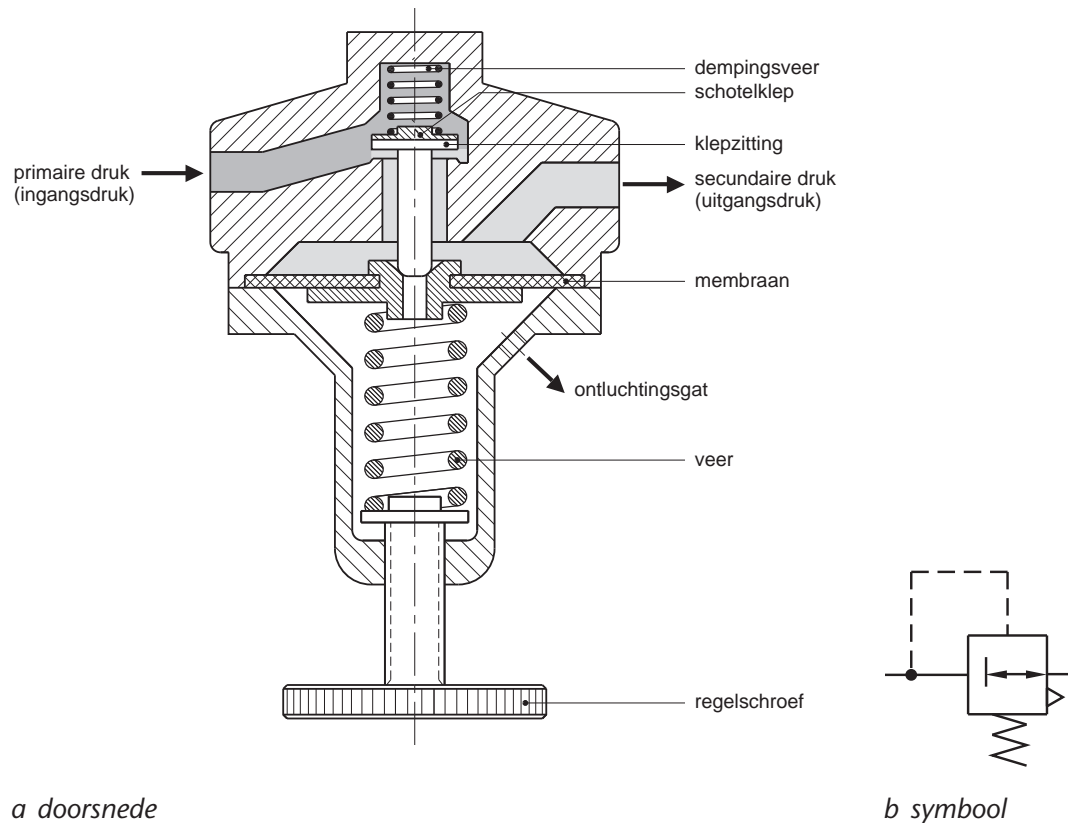
Verontreinigingen (zoals stof, vuil en roest) hebben nadelige invloeden op de glijvlakken, afdichtingen en de werking van pneumatische elementen. Om de perslucht van die verontreinigingen en eventueel water te ontdoen stroomt deze via leispleten roterend in het reservoir van het persfilter. Zie figuur 1.36. Grote verontreinigingen worden door de middelpuntvliedende kracht weggeslingerd en onder in het reservoir verzameld. Kleinere verontreinigingen worden tijdens het doorstromen naar de uitgang door de poriën van het filter tegengehouden. Uiteraard moeten we het filter en het reservoir regelmatig schoonmaken.



Figuur 1.36 Persfilter

Reduceerventiel

Het reduceerventiel stelt een lagere werkdruk in zodat deze onafhankelijk wordt van de variaties in de netdruk. De werkdruk wordt geregeld door een klep die aan de onderzijde gestuurd wordt door een membraan. Zie figuur 1.37.



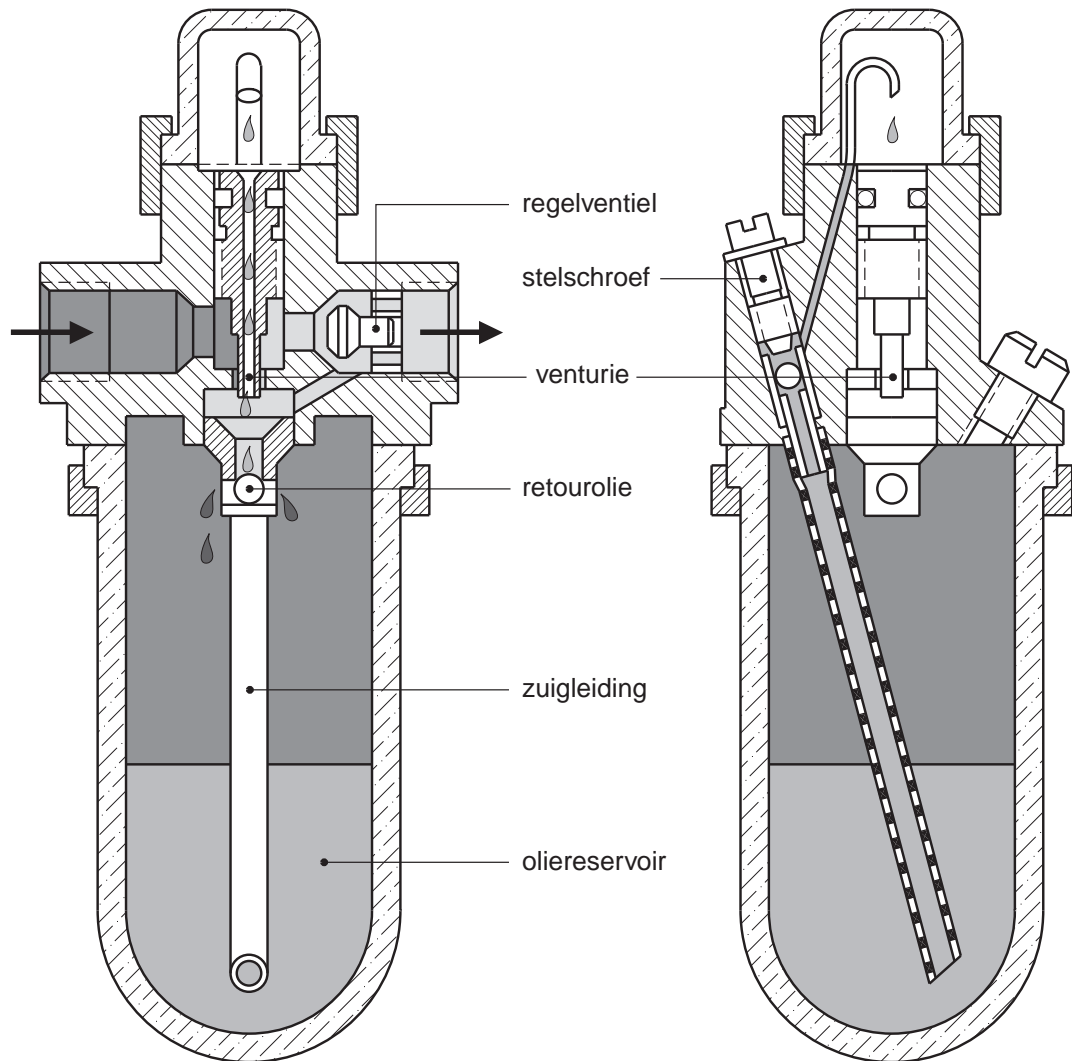
Figuur 1.37 Reduceerventiel

De opwaartse klepkracht wordt bepaald door een veer met regelschroef, waarmee de gewenste werkdruk (secundaire druk) ingesteld wordt. De neerwaartse klepkracht wordt voornamelijk bepaald door de werkdruk aan de bovenzijde van het membraan. Neemt de werkdruk naar de verbruiker af, dan wordt door de veerkracht het membraan verder opengestuurd. Hierdoor stroomt de perslucht sneller toe en loopt de werkdruk weer op. Het membraan zal tegen de ingestelde veerkracht in neerwaarts bewegen. De klep sluit weer enigszins door de netdruk (primaire druk) aan de bovenzijde van de klep. Om drukschommelingen te voorkomen is aan de bovenzijde van de klep een dempingsveer aangebracht.

Smeertoestel

Om de weerstand door wrijving en de slijtage aan glijdende onderdelen te verminderen kunnen we de perslucht eventueel van een olienevel voorzien met behulp van een smeertoestel. Zie figuur 1.38. Dit is meestal alleen nodig bij grotere cilinders en persluchtmotoren die langdurig achtereen in bedrijf zijn.

Bijkomend voordeel van olieverneming is dat de verschillende pneumatische onderdelen in de installatie beschermd worden tegen corrosie.



a twee doorsneden



b symbol

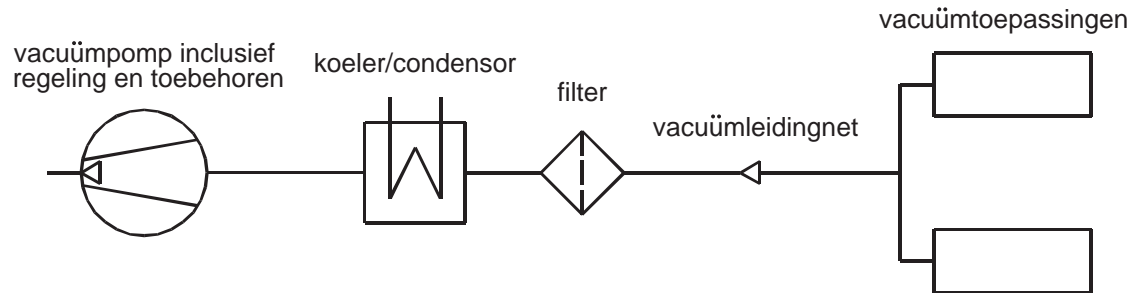
Figuur 1.38 Smeertoestel

Een smeertoestel werkt volgens het *venturi-principe*. De lagere druk in de venturi wordt gebruikt om de olie uit een reservoir te zuigen en met de lucht te vermengen. Via een regelschroef wordt een deel van de perslucht via de venturi geleid. In de zuigleiding voor de olie zit een klepje dat het terugstromen van de olie tijdens stilstand van de installatie voorkomt. De hoeveelheid toe te voeren olie regelen we door middel van een stelschroef. Overtollige oliedruppels vallen na het passeren van de venturi terug in het reservoir.

1.12 Opbouw van een vacuümsysteem

In figuur 1.39 zie je een compleet vacuümsysteem. Zo'n systeem bevat de volgende drie componenten:

- vacuümpomp, met regeling en toebehoren;
- vacuümdistributienet;
- vacuümtoepassing.



Figuur 1.39 Schema van een vacuümsysteem

Een vacuümpomp creëert het vacuüm. Wanneer hoge eisen aan de onderdruk worden gesteld, kunnen we meerdere typen vacuümpompen in serie schakelen. Behalve aan het soort vacuüm worden er ook eisen aan de evacuatie tijd gesteld. De *evacuatie tijd* is de tijd waarbinnen de vacuümruimte op de gewenste vacuümdruk moet worden gebracht. Om een korte evacuatie tijd te verkrijgen moeten we vacuümpompen met een grote capaciteit kiezen of kunnen we vacuümpompen parallel schakelen.

De uitvoeringsvormen van vacuümpompen komen overeen met de uitvoeringsvormen van compressoren. Tabel 1.5 geeft van de meest toegepaste industriële vacuümpompen een overzicht van de belangrijkste kenmerken. Net als bij een compressor moeten we de vacuümpomp beschermen tegen verontreinigingen door de intredende lucht te filteren. Een verschil met de compressorinstallatie is dat waterdamp alleen voorkomen kan worden door de intredende lucht te koelen met behulp van een condensor.

TABEL 1.5 KENMERKEN VAN INDUSTRIËLE VACUÛMPOMPEN

pomptype	minimale onderdruk in mbar	capaciteit in m ³ /h	kenmerken
Rootsblower, drooglopend	100	200–100.000	gevoelig voor temperatuurverschillen en verontreinigingen
zuigerpomp, drooglopend	80	1–1000	eenvoudig principe zwaar in uitvoering
membraanpomp, drooglopend	80 enkeltraps 5 meertraps	0,1–15	geschikt voor agressieve media snelle slijtage van het membraan
schroefpomp, oliegesmeerd	0,1	70–2500	geschikt voor vochtige media goed regelbaar koeling vaak noodzakelijk
schottenpomp, oliegesmeerd	0,1 enkeltraps 0,001 meertraps	1–1600	trillingsvrij en goed regelbaar gevoelig voor verontreinigingen

1.13 Kernpunten

Pneumatische aandrijftechniek

Zonne-energie geeft ons direct of indirect een aantal primaire energievormen, zoals:

- thermische energie;
- chemische energie;
- windkracht;
- waterkracht.

Primaire energie kunnen we rechtstreeks gebruiken, maar we kunnen deze ook na energie-omzetting gebruiken als secundaire energievormen, zoals:

- mechanische energie (= kracht × beweging);
- elektrische energie (= spanning × stroom);
- pneumatische energie (= druk × stroming);
- hydraulische energie (= druk × stroming).

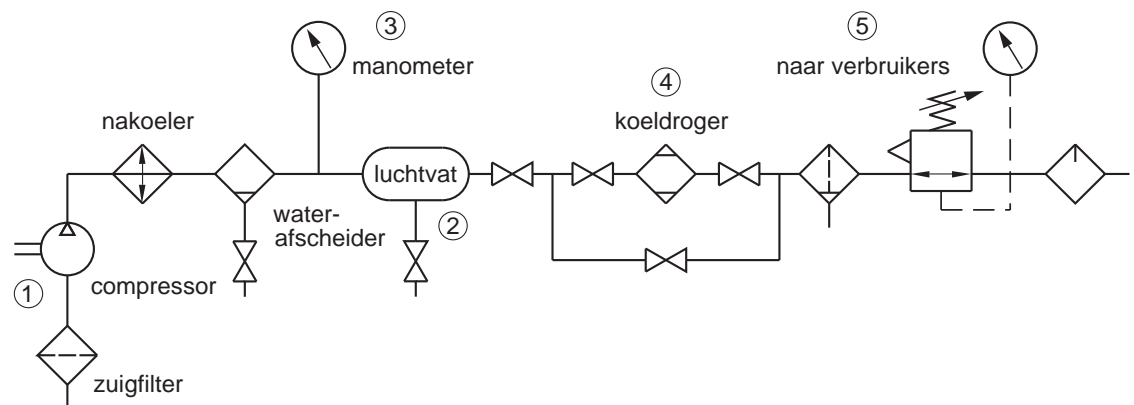
Ook de secundaire energie kunnen we rechtstreeks gebruiken. Denk aan de mechanische energie bij het autorijden. Ook kunnen we deze met een aandrijftechniek omzetten in rechtlijnige of roterende bewegingen met uitvoerorganen, zoals: cilinders en motoren.

De pneumatische aandrijftechniek heeft duidelijk een aantal voordelen ten opzichte van de elektrische aandrijftechniek, maar daar staan direct ook weer nadelen tegenover. Zie tabel 1.6.

TABEL 1.6 KENMERKEN VAN INDUSTRIËLE VACUÛMPOMPEN

voordeel	nadeel
<ul style="list-style-type: none"> – snelle bewegingen en richtingsveranderingen – eenvoudig regelbaar – geen gevaar voor overbelasting – geen retourleidingen nodig – eenvoudig energietransport en eenvoudige opslag – geen ontploffings- of brandgevaar 	<ul style="list-style-type: none"> – geen constante snelheidsregeling – beperkte druk – ontsnappende lucht maakt veel lawaai – duur

Persluchtinstallatie



Figuur 1.40

1a Zuigercompressor

Door het samenpersen van lucht in een compressor krijgen we een hogere druk en warmte. Door warmte tussentijds af te voeren, verbeteren we de werking (rendement) van de compressor. Warme gecomprimeerde lucht geeft namelijk na afkoeling in het luchtvat een lagere druk. De compressor moeten we daarom zo koel mogelijk plaatsen. Ook moet hij koelribben en een ventilator hebben.

De zuigercompressor gebruiken we nog steeds het meest:

- ééntrapszuigercompressoren voor drukken van $6 \cdot 10^5$ Pa tot $8 \cdot 10^5$ Pa;
- tweetrapszuigercompressoren voor drukken tot ongeveer $16 \cdot 10^5$ Pa à $20 \cdot 10^5$ Pa.

Om drukstoten te beperken kunnen we zuigercompressoren dubbelwerkend uitvoeren.

b Roterende compressor

Voordelen van roterende compressoren ten opzichte van zuigercompressoren zijn de kleine afmetingen, geruisloze werking en gelijkmatige opbrengst. Met uitzondering van de schottencompressor leveren roterende compressoren olievrije perslucht.

c Meertrapscompressor

Om de warmteontwikkeling tijdens het comprimeren te beperken wordt bij grote compressoren de compressie verdeeld over twee of meer trappen.

2 Luchtvat

Het luchtvat is een buffer om drukstoten van vooral de zuigercompressor om te zetten in een stabiele druk. Ook moet hij piekafnames door de gebruikers opvangen.

3 Regelingen

Om de levering en afname van perslucht op elkaar af te stemmen, hebben we bij een compressor een regeling nodig op basis van gemeten druk (*pressostaat*). Bij een aan/uit-regeling hebben we een groter luchtvat nodig om het aantal schakelingen te beperken. (Volume = $\frac{1}{2} \times$ opbrengst/min.)

Bij een nullastregeling blijft de motor stationair draaien. We hebben bij afname direct levering van perslucht. Dan hebben we een kleiner luchtvat nodig. (Volume = $0,15 \times$ opbrengst/min.)

4 Conditionering

Voordat de distributie van de perslucht via een leidingsysteem naar de gebruikerspunten gaat, moeten we de perslucht op een gewenste kwaliteit brengen. Dat wil zeggen:

- het verwijderen van vocht in de nakoeler en het luchtvat;
- het verlagen van de vochtigheid van de perslucht met een koeldroger of een absorptiedroger.

Persluchtleidingen komen voor als ringleidingen als de afstanden tussen de verbruikerspunten groot zijn. Eventueel wordt een ringleiding voorzien van een extra buffervat ter voorkoming van drukverlies bij een grotere afname.

- 5 Afhankelijk van de wensen in de afnemende installatie kunnen we ter plaatse de druk reduceren, filteren en smeerolie toevoegen.
In verband met trillingen en de mogelijkheid tot loskoppelen wordt de conditioneringseenheid van een pneumatische installatie door middel van flexibele slangen en snelkoppelingen aan de persluchtleiding gekoppeld.

Vacuüminstallatie

Van vacuüm is sprake als de druk lager is dan de omgevingslucht en wordt gecreëerd door lucht af te pompen uit een ruimte. De uitvoeringsvormen van vacuümpompen komen overeen met de uitvoeringsvormen van compressoren.

Opgaven

Pneumatische energie

Bestudeer de volgende paragrafen in het kernboek:

- 1 Inleiding
- 2 Energievormen
- 3 Pneumatische energie

Beantwoord de vragen 1 t/m 9.

Een alternatieve energiebron zou zonne-energie kunnen zijn. Eigenlijk moeten we juist zonne-energie primaire energie noemen.

Vraag

- 1 Verklaar dit aan de hand van een van de vier primaire energievormen.

Je hebt vast weleens gemerkt dat het op een frisse zonnige dag achter een raam lekker warm kan worden. Helaas hebben we onze huizen er niet op gebouwd om de zonnestraling maximaal te benutten.

Vraag

2 Hebben we hier te maken met energie-omzetting? Zo ja, welke?

Waterkracht wordt net als windenergie veroorzaakt door zonnestraling. De zonne-energie verwarmt het zeewater waardoor er waterdamp opstijgt. De waterdamp verplaatst zich in de vorm van wolkenmassa's naar hoger gelegen koudere gebieden. Hier condenseert de waterdamp tot regen. In de bergachtige streken van Noorwegen en Schotland kan men door middel van schoepenwielen en een dynamo de stromingsenergie van water omzetten in elektriciteit.

Vraag

3 Welke energie-omzetting(en) vinden plaats bij waterkracht?

De warmtestraling van de zon zet niet alleen het water om in beweging, maar ook de lucht. Uit zonne-energie krijgen we zo voor een deel ook windkracht. Maar we kunnen er beperkt elektrische energie mee produceren.

Vraag

4 Welke energievormen zijn daarbij primair en welke secundair?

In de uitleg in je kernboek spreken we over pneumatische energie, pneumatische aandrijftechnieken en pneumatische uitvoerorganen.

Vragen

- 5 Leg in je eigen woorden uit wat er met de drie bovengenoemde begrippen wordt bedoeld.

pneumatische energie _____

pneumatische aandrijftechniek _____

pneumatische uitvoerorganen _____

- 6 Is de zuignap in de vacuümtechniek een aandrijftechniek of een uitvoerorgaan? Verklaar je antwoord.

- 7 Noem de twee belangrijkste redenen om te kiezen voor pneumatische energie in plaats van voor elektrische energie.

1 _____

2 _____

Bij een pneumatisch systeem is de eenvoudige wijze waarop snelle rechtlijnige bewegingen te realiseren zijn een belangrijk voordeel ten opzichte van bijvoorbeeld de elektrische aandrijftechniek.

Vragen

- 8 Geef van de volgende criteria aan of deze een voordeel of een nadeel zijn bij de keuze van pneumatische uitvoerorganen ten opzichte van elektrische uitvoerorganen. Geef ook de reden.

criteria	voordeel	nadeel	reden
krachten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____

constructie uitvoerorganen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____

overbelastbaarheid	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____

veiligheid <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		_____

milieu <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		_____

lawaai <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		_____

- 9 Waarom ontstaat bij het lijmen van de zijwand van een caravan onder vacuüm een gelijkmatiger druk?

Verdiepende opdracht 1

De kracht op de caravanwand als gevolg van de onderdruk is te berekenen met de formule: kracht $F = p_{\text{onderdruk}} \cdot \text{oppervlakte } A$.

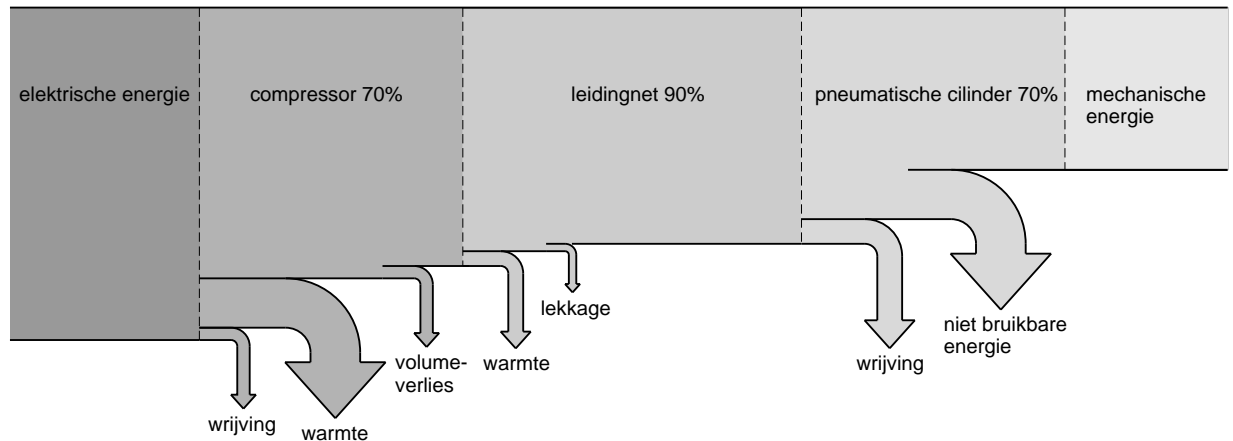
Bereken met behulp van deze formule de werkelijke kracht op een caravanwand van $6 \times 2,9$ m bij een onderdruk van 100 mbar.

Persluchtsysteem

Beantwoord de vragen 10 t/m 12.

Een belangrijk nadeel van pneumatische energie is het lagere rendement dat wordt veroorzaakt door de extra energie-omzettingen.

In figuur 1.1 zie je alle voorkomende energieverliezen wanneer we perslucht toepassen.



Figuur 1.1

Vragen

10 Wat verstaan we hier onder een rendement?

11 Waarom is het warm worden van de compressor een vorm van energieverlies?

12 Wat is volgens figuur 1.1 de hoeveelheid pneumatische energie in procenten van de elektrische energie?

Compressoren

Bestudeer de volgende paragrafen in het kernboek:

- 5 Lineaire compressoren
- 6 Roterende compressoren

Beantwoord de vragen/opdrachten 13 t/m 27.

Een fietspomp is eigenlijk niet anders dan een ééntrapszuigercompressor.

Vragen

13 Hoe werkt de fietspomp tijdens het aanzuigen van de buitenlucht?

14 Hoe werkt de fietspomp tijdens het wegpersen van deze lucht in de band?

Vaak blijkt dat de pompslang niet goed op het ventiel blijft zitten.

Vraag

15 Wat merk je aan de temperatuur van de pompslang als je deze vasthoudt, terwijl een ander pompt?

Na het oppompen is de druk in de fietsband na een paar minuten altijd iets minder geworden.

Vragen

16 Wat is de oorzaak van deze drukvermindering?

- 17 Hoe kan een membraancompressor olievrije perslucht leveren terwijl op de zuiger toch smering wordt toegepast?

- 18 Waarom zal een membraancompressor een lagere persdruk leveren dan een zuigercompressor?

- 19 Een rootsprocessor en een klauwprocessor tonen op zich veel overeenkomsten. Wat is het belangrijkste verschil tussen deze compressoren?

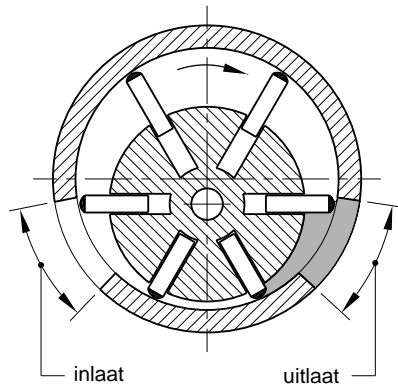
- 20 Wat noemen we bij de twee-assige draaizuigercompressoren steeds als extra voordeel?

- 21 Voor persluchtinstallaties in de utiliteitsbouw zoals ziekenhuizen, is het extra voordeel uit vraag 20 erg belangrijk. Verklaar waarom.

Ook bij roterende compressoren zien we het verdichterprincipe. *Volumevergroting* geeft aanzuiging. *Volumeverkleining* geeft drukverhoging.

Opdracht

- 22 Geef in figuur 1.2 exact aan over welk deel van de omtrek compressie plaatsvindt. Over welk gedeelte hebben we aanzuiging?



Figuur 1.2

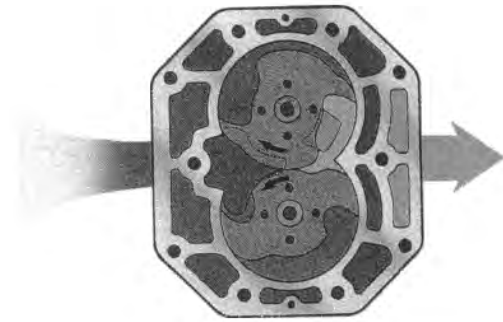
Aan de buitenkant lijken een schottencompressor en een radiale turbocompressor wel wat op elkaar. Toch werken beide compressoren heel verschillend.

Vragen

- 23 Wat is het principiële verschil in werking?

- 24 Wat is het verschil in toepassing van een schottencompressor en een turbocompressor?

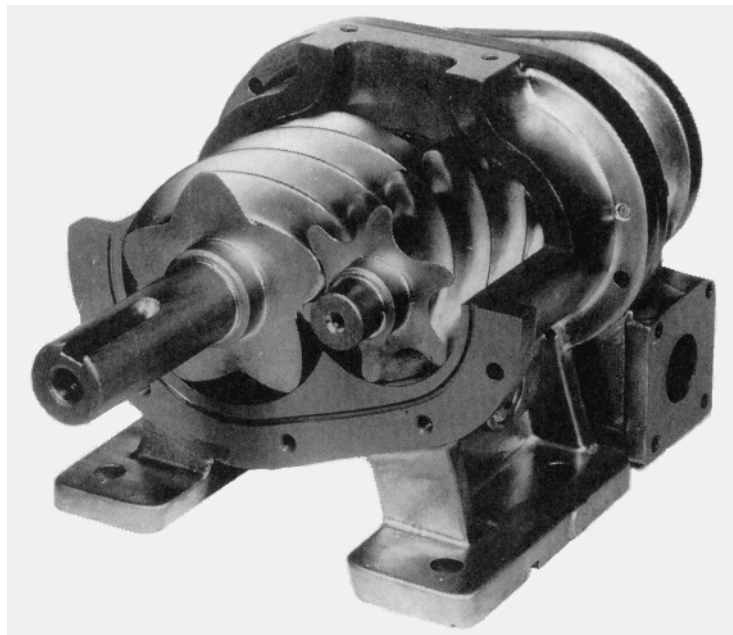
- 25 Het is mogelijk dat de draairichting van de klauwcompressor in figuur 1.3 verkeerd is aangegeven.



Figuur 1.3

Is dit inderdaad zo? Verklaar je antwoord.

- 26



Figuur 1.4

In welke richting moet de hoofdas van de schroefcompressor in figuur 1.4 draaien, zodat de perslucht aan de bovenzijde de compressor verlaat?

- 27 Welke constructieve voorziening zorgt ervoor dat twee-assige compressoren olievrij kunnen comprimeren?

Compressieregelingen

Bestudeer de volgende paragrafen in het kernboek:

- 7 Meertrapscompressoren
- 8 Compressorkeuze
- 9 Opbrengstregelingen bij compressoren

Beantwoord de vragen/opdrachten 28 t/m 39.

Vraag

- 28 Waarom moeten we bij een tweetrapscompressor een tussenkoeler gebruiken?

- 29 Wat is het verschil tussen een dubbelwerkende compressor en een tweetrapscompressor?

We kunnen met een ééntrepscompressor een maximumdruk maken van ongeveer $12 \cdot 10^5$ Pa. Toch gebruiken we in de praktijk voor deze druk een tweetrepscompressor.

Vragen

- 30 Waarom zijn bij een tweetrepscompressor de afmetingen van de beide cilinders niet gelijk?

- 31 Waarom is bij dezelfde einddruk het rendement van een tweetrepscompressor groter dan dat van een ééntrepscompressor?

- 32 Wat zal de reden zijn dat de zuigercompressor meer wordt toegepast dan een schroefcompressor?

Verdiepende opdracht 2

Stel, we willen een einddruk van $15 \cdot 10^5$ Pa bereiken. Waarom kiezen we bij een olievrije schroefcompressor dan voor een tweetrapsuitvoering, maar bij een oliegeïnjecteerde schroefcompressor niet?

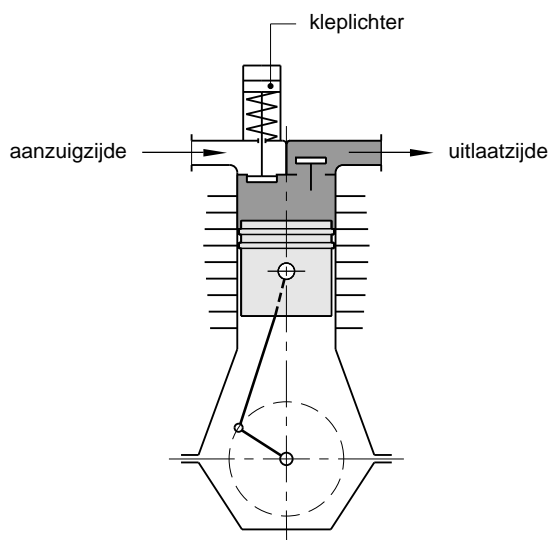
Bij de aan/uit-regeling moeten we de motor steeds opnieuw inschakelen. In verband met de belasting van de motor en het schakelmateriaal moeten we het aantal schakelingen per uur beperken.

Vragen

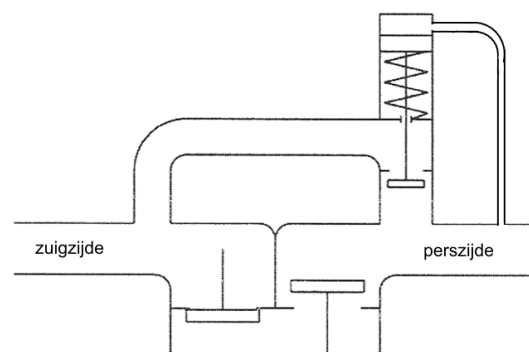
33 Wat betekent dit voor de grootte van het luchtvat?

34 Waarvoor dient de terugslagklep tussen de compressor en het luchtvat?

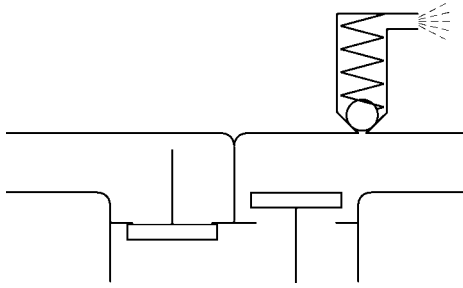
35 Kan de compressor bij de aan/uit-regeling onbelast aanlopen?



Figuur 1.5a



Figuur 1.5b



Figuur 1.5c

Opdracht

36 Welke opbrengstregeling is van toepassing in de figuren 1.5a t/m 1.5c?

Figuur 1.5a: _____

Figuur 1.5b: _____

Figuur 1.5c: _____

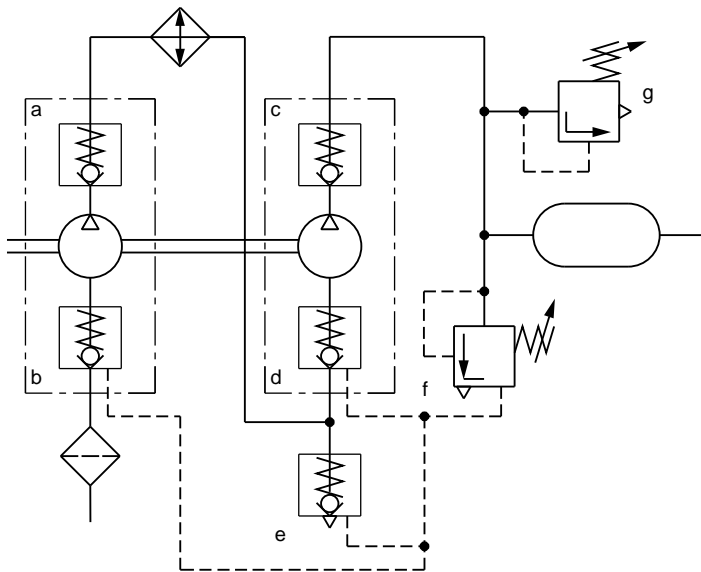
Vragen

37 Wat is het voordeel van een nullastregeling ten opzichte van een aan/uit-regeling?

38 Waarom wil men het aantal nullasturen beperken?

39 Met welk type opbrengstregeling komt de interne kortsluiting overeen: de afblaasregeling, de aan/uit-regeling of de vollast/nullast-regeling?

Verdiepende opdrachten 3



Figuur 1.6 Principeschema van een tweetrapscompressor met nullastregeling

- 1 Zoek met behulp van het tabellenboek de benamingen op van de componenten a t/m g uit figuur 1.6.

component a _____

component b _____

component c _____

component d _____

component e _____

component f _____

component g _____

- 2 Welk(e) component(en) van figuur 1.6 word(t)(en) geopend

a tijdens het aanzuigen van trap 1? _____

b tijdens het comprimeren van trap 2? _____

c als de compressor in nullast draait? _____

d als gevolg van een defecte nullastregeling waarbij de compressiedruk blijft toenemen? _____

- 3 Wanneer kiest men voor een nullastregeling?
-

Persluchtinstallatie

Bestudeer de volgende paragrafen in het kernboek:

- 10 Compressortoebehoren
- 11 Persluchtleidingen

Beantwoord vragen 40 t/m 56.

Een luchtvat is een buffer tussen de compressor en de afnemers. Het luchtvat bestaat uit een rond vat met een aanvoerleiding vanaf de compressor, een afvoerleiding naar de gebruikers, een manometer en een aftapkraan voor water.

Vragen

- 40 Om welke twee redenen is er een buffer nodig tussen de compressor en de gebruikers?

1 _____

2 _____

- 41 Waarom zit er een waterafscheiding in het luchtvat?

- 42 Aan welke zijde van het luchtvat, boven of onder, is het raadzaam om de aansluiting te maken van de persleiding naar de gebruikers? Wat is de reden hiervoor?

- 43 Waardoor kunnen we in de afvoerleiding toch nog water krijgen?

Bij een koeldroger tappen we het water op meerdere punten af.

Vragen

- 44 Noem alle punten in de installatie waar we water moeten aftappen.

- 45 Waarom passeert de gecomprimeerde en gekoelde lucht eerst een warmtewisselaar voordat deze naar de afnemers gaat?

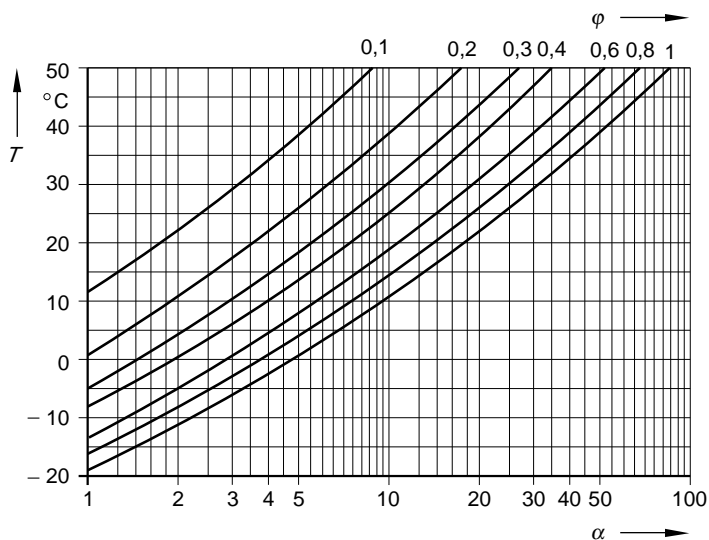
We kunnen in plaats van een koeldroger ook voor een adsorptiedroger kiezen.

Vragen

- 46 Welke van de twee droogsystemen levert de droogste perslucht?

- 47 Wanneer gaat de voorkeur uit naar een installatie met een adsorptiedroger?

- 48 Een compressor zuigt lucht aan met een temperatuur van 25 °C en een relatieve vochtigheid van $\varphi = 0,8$. Hoeveel waterdamp zal volgens figuur 1.7 in iedere m³ aangezogen lucht aanwezig zijn?



Figuur 1.7

- 49 Een compressor zuigt lucht aan bij een aanzuigdruk van $0,95 \cdot 10^5$ Pa en perst deze samen tot een druk van $6,5 \cdot 10^5$ Pa. De temperatuur van de aangezogen lucht is $20 \text{ }^\circ\text{C}$ en de relatieve vochtigheid van de lucht $\varphi = 0,6$. Bepaal met behulp van figuur 7 de hoeveelheid condensaat per m^3 aangezogen lucht die na de afkoeling van de gecomprimeerde lucht ontstaat.
-

Bij de aansluitpunten waar we de perslucht afnemen, plaatsen we vaak nog een conditioneringseenheid.

Vragen

- 50 Wat is het conditioneren van perslucht?

- 51 Welke functies vervult een conditioneringseenheid bij het aansluitpunt?

- 52 Hoe kan er roest in een persluchtleiding ontstaan.

Het voordeel bij perslucht is dat de afvoer ervan geen probleem vormt. Zonder probleem kun je met een luchtslang voorwerpen schoonblazen. De aanvoer geeft echter wat meer problemen.

Vragen

- 53 Waarom passen we bij voorkeur een ringleiding toe als de verbruikerspunten ver uit elkaar liggen?

- 54 De toepassing van een buffervat in een persluchtleiding is vergelijkbaar met een boiler voor de warmwatervoorziening.
Leg deze vergelijking uit.

- 55 Als aan jou zou worden gevraagd om in een hal een leidingsysteem voor perslucht aan te leggen, naar welk materiaal zou jouw voorkeur uitgaan? Leg uit waarom.

- 56 Waarom wordt er bij voorkeur altijd een slangverbinding gelegd tussen de persluchtleiding en de installatie?
Geef 2 redenen.

1 _____

2 _____

Vacuümsysteem

Bestudeer de volgende paragraaf in het kernboek:
– 12 Opbouw van een vacuümsysteem

Beantwoord de vragen 57 t/m 60.

Als we de schema's van een persluchtsysteem (zie figuur 6 in het kernboek) en een vacuümsysteem (figuur 39 in het kernboek) met elkaar vergelijken, zien we overeenkomsten en verschillen.

Vragen

- 57 Welke component wordt bij beide installaties op dezelfde plaats ten opzichte van de pomp gemonteerd?

- 58 Welke component wordt bij beide installaties ten opzichte van de pomp verschillend gemonteerd?

- 59 Welk pomptype levert een beperkte druk, maar is uiterst geschikt voor een lage onderdruk?

- 60 Welk pomptype levert een grote opbrengst als compressor, maar heeft een beperkte opbrengst als vacuümpomp?

Verdiepende opdrachten 4

- 1 Vraag aan de docent de documentatie van de persluchtinstallatie op jullie school of toestemming om de installatie te bezichtigen.
- 2 Ga in jullie school na waaruit jullie persluchtinstallatie bestaat, zoals:
 - het compressortype;
 - de maximale druk en opbrengst;
 - welke drukregeling van toegepassing is;
 - de verhouding tussen compressoropbrengst en het volume van het luchtvat;
 - de wijze waarop de perslucht wordt geconditioneerd.
- 3 Staat de compressor naar jouw mening op de juiste plaats in het schoolgebouw?

Afsluiting pneumatische installaties

Controlelijst

Controleer aan de hand van de volgende lijst wat je al weet. Kruis aan wat je weet, kent of kunt en bestudeer nogmaals de onderwerpen die nog niet duidelijk zijn in het kernboek.

- Hoe energie-omzetting plaatsvindt bij geautomatiseerde processen.
- Wat toepassingen en mogelijkheden van pneumatische aandrijftechnieken zijn.
- Wat de hoofdindeling van compressormethoden en compressortypen is.
- Wat de constructieve uitvoering en functie van enkelwerkende en dubbelwerkende eentrapszuigercompressoren en roterende compressoren is.
- Wat het doel, het principe en de uitvoeringsvormen van meertrapscompressoren is.
- Wat de noodzaak van koeling van compressoren is.
- Wat de functie van het reservoir en de werking van diverse opbrengstregelingen is.
- Wat de invloed van compressie op luchtvochtigheid is.
- Wat het principe van een koel- en absorptiedroger is.
- Wat de functie en werking van een luchtconditioneringseenheid is.
- Wat de meest voorkomende materialen en montagethoden van pneumatische (hoofd)leidingen zijn.

Zelftoets

- 1 a Wat zijn primaire energievormen? Geef een voorbeeld.

- b Wat zijn secundaire energievormen? Geef een voorbeeld.

- c Wat is een aandrijftechniek?

- 2 a Wat is een uitvoerorgaan?

- b Noem twee voordelen bij het gebruik van pneumatiek als aandrijftechniek.

1 _____

2 _____

- c Geef bij elk voordeel een korte toelichting of een voorbeeld waaruit het voordeel blijkt.

1 _____

2 _____

- 3 a Noem twee hoofdmethoden van comprimeren.

1 _____

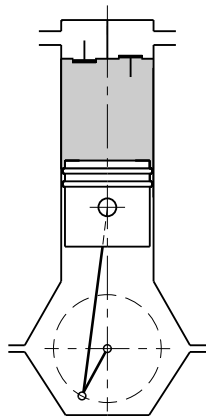
2 _____

- b Beschrijf kort het principe van beide methoden.

1 _____

2 _____

- 4 a Geef in figuur 1.8 met pijlen de draairichting en de luchtstroom van een zuigercompressor aan.



Figuur 1.8

- b Licht de werking toe tijdens aanzuigen en persen.

- c Hoe komt het openen en sluiten van de zuig- en perskleppen tot stand?

- d Wat is het voordeel van een dubbelwerkende zuigercompressor ten opzichte van een enkelwerkende zuigercompressor?

- 5 a Noem twee voordelen van meertrapscompressoren ten opzichte van eentrapcompressoren.

1 _____

2 _____

- b Welke uitvoeringen van tweetrapszuigercompressoren komen voor?

- 6 Om welke reden is tussenkoeling bij een tweetrapscompressor noodzakelijk?

- 7 a Licht de twee functies van een drukvat toe.

1 _____

2 _____

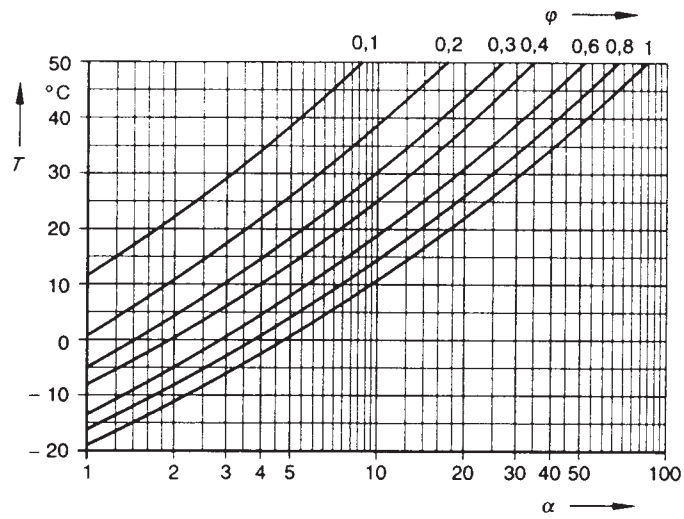
- b Hoe werkt het principe van een pressostaat?

- 8 Een luchtvolume van 80 m^3 en een druk van $1 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ bevat $1,2 \text{ kg}$ waterdamp. De verzadigingshoeveelheid is 20 g/m^3 .

- a Bepaal de relatieve vochtigheid (in %). _____ %

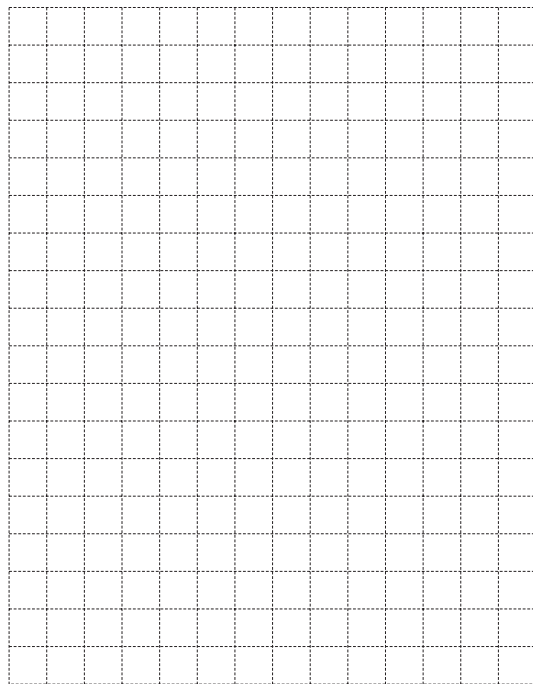
- b Als dit volume bij gelijkblijvende temperatuur wordt samengeperst tot een druk van $5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$, hoeveel condens zal er dan worden gevormd?

_____ g waterdamp



Figuur 1.9

- 9 a Leg het principe van de werking van een koeldroger uit en maak daarbij gebruik van een principeschets.



b Waarom wordt perslucht door koeling droger?

10 a Leg de werking van een luchtfilter uit.

b Uit welke twee componenten bestaat een luchtconditioneringseenheid nog meer?

1 _____

2 _____

11 a Waarom kiest men vaak voor een ringleidingssysteem?

b Noem twee methoden om kunststof slangen lekvrij te monteren.

1 _____

2 _____

- c Noem twee materialen voor aansluitlangen.
Geef ook aan waardoor de keuze tussen beide materialen wordt bepaald.

1 _____

2 _____

