

Pumpen & Compressoren

Pompen & Compressoren

Marc Borremans



ACADEMIA
PRESS

Uitgeverij Academia Press
Ampla House
Coupure Rechts 88
9000 Gent België

www.academiapress.be

Uitgeverij Academia Press maakt deel uit van Lannoo Uitgeverij, de boeken- en multimediativisie van Uitgeverij Lannoo nv.

ISBN 978 94 014 6936 4
D/2020/45/246 NUR 950

Marc Borremans Pompen & compressoren
Gent, Academia Press, 2020, 427 p.

Vijfde (compleet herwerkte druk), 2020
Vierde (herwerkte) druk, 2018
Derde (ongewijzigde) druk, 2017
Tweede (herwerkte) druk, 2015
Eerste druk, 2010

Vormgeving cover: Studio Lannoo

© Marc Borremans & Uitgeverij Lannoo nv, Tielt

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Dit kleurrijke boek zou niet mogelijk zijn geweest zonder de bijdrage van enthousiaste bedrijven over de hele wereld. Ze lieten me toe om hun afbeeldingen te gebruiken. Ze zijn, in alfabetische volgorde:

Aerzen	Helios
Aessal	Hus
Agilent	Hermetic pumps GmbH
Alfa Laval	Hibon
Allied pumps	Hidrostal
Almecco	Hitachi
Alup - Grassair	Hoerlinger Valve
Allweiler	Howden
Andritz	Hus (Verder)
Ateliers François	Ingersoll Rand
Atlas Copco	iLLmVARC
Autosol	ITT Gouldpumps
Axongroup	Johnson Pumps
Begeman	JPL Compressor Systems
Bitzer	Kaeser
Boge	Klima
Burkhardt	Knf
Börger	Koerting
Bornemann	KSB
Bosch-Rexroth GmbH	Leistritz
Cameron Compressor Systems	Lewtek
Cat pumps	LewVac
CBI fans	Leybold Vacuum
Clasal	Liquidine Sealing Solutions
Compare	Mwi pumps
Cork	Neptuno
Cornellpump	NMF
CP Pumpen A.G.	Parker Hannifin
Dab	PDC Machines
Daikin	Pfeiffer
Daurex	Psg Dover en Mouvex
Dewekom Engineering	Ritz
Dura	Rolls Royce
Dutair	Rotojet
Edwards Vacuum	Schaeffer
Ensival Moret (Flowserve)	Seepex
Ebbm-Papst	Sepco
Egger	Scam-Torino
Eriks	Shamai
Feluwa	Siemens
Flowserve	Sihi-Sterling
Fluimac	SKF
Fluiten	Speck Pumpe
Friotherm	SPXFlow
Gardner Denver	Stork
Gea	Systemair
Glynwed/Reinhütte pumpen	Sulzer
Grasso	Twente Universiteit
Greenheck	Verderair
Grundfos	Viking Pump
Gutmbh	Warman
Hawe	Watts
Heilig groep	Weir
	Wemco

Voorwoord bij de vijfde druk

In de vijfde druk is er heel wat extra informatie bijgekomen. Praktisch alle hoofdstukken zijn herwerkt, sommige gedeeltelijk, sommige geheel. Ondertussen, in 2020, met een trefwoord “compressor” op Google verkrijgt u 210 miljoen resultaten. Bovendien kan je op Internet Explorer nog extra links vinden, op voorwaarde dat je heel precies aangeeft welk aspect je wil opzoeken. Het trefwoord “pump” leidt je voornamelijk naar “pump shoes”! Het is dus niet mogelijk te weten te komen hoeveel links er zijn naar de machine “pump”. Het beste is te zoeken naar een specifiek type pomp, bijvoorbeeld “radial pump”. Welnu, dit alleen al levert 39 miljoen hits.

In deze vijfde druk zijn er heel wat afbeeldingen en tekeningen bijgekomen, er zijn er nu 900. Van de oorspronkelijke afbeeldingen van 2010, die de werking van, pomp of compressor weergeeft, is praktisch niets meer terug te vinden op het web. Constructeurs en zeker verkopers stellen zich tevreden met het aanbieden van hun modellen, maar je ziet alleen de behuizing. Een aantal karakteristieke grootheden worden opgegeven, maar de grafische karakteristieken ontbreken vaak.

Bijzondere aandacht in deze editie werd besteed aan de figuren.

Achteraan het boek is een referentielijst opgenomen met trefwoorden zodat ze op het web kunnen worden opgezocht. De lijst bevat items die ofwel dieper ingaan op de materie, ofwel zeer illustratief zijn.

Dit boek werd geschreven met het oog op een zo breed mogelijk publiek. Eerst en vooral werd er al gezegd dat dit werk encyclopedisch is. Dat houdt in dat voor educatieve doeleinden in scholen de docent/lector een aantal onderwerpen zal moeten selecteren en een aantal zal moeten weglaten. Het betekent ook dat op universiteiten het wiskundige ten volle kan worden gedoceerd, terwijl bij studenten van 16 jaar daarvan abstractie moet gemaakt worden en slechts de basisbegrippen dienen te worden onthouden.

Ik hoop dat dit boek een leemte in de technisch-wetenschappelijke literatuur in de Nederlandse taal opvult.

Opmerkingen allerhande, ook aanvraag voor docentenmateriaal, zijn nog steeds welkom op mijn adres borremans.m@telenet.be

Marc Borremans
Dilbeek, 2020

Hoofdstuk 1: Pompen: Algemeen

- 1.1 Hydrostatica, P 1.1
- 1.2 Debiet, P 1.1
- 1.3 Enige betrekkingen uit de thermodynamica, P 1.2
- 1.4 Wet van Bernoulli, P 1.3
- 1.5 Statische en dynamische druk, P 1.4
- 1.6 Viscositeit, P 1.5
- 1.7 1ste uitbreiding wet van Bernoulli, P 1.8
- 1.8 Laminaire en turbulente stroming, P 1.9
- 1.9 Laminaire stroming
 - 1.9.1 Hydraulische weerstand, P 1.10
 - 1.9.2 Hydraulische diameter, P 1.11
- 1.10 Turbulente stroming
 - 1.10.1 Algemeen, P 1.13
 - 1.10.2 Ruwheid van pijpleidingen, P 1.13
 - 1.10.3 Hydraulisch gladde leidingen, P 1.14
 - 1.10.4 Hydraulisch ruwe leidingen, P 1.15
 - 1.10.5 Overgangsgebied, P 1.16
 - 1.10.6 Verouderingsfactor, P 1.16
 - 1.10.7 Plaatselijke weerstanden, P 1.16
- 1.11 Diagram van Moody, P 1.19
- 1.12 Voorbeeld 1.1, P 1.19
- 1.13 Voorbeeld 1.2, P 1.21
- 1.14 Equivalente lengte, P 1.23
- 1.15 Correctie op de wet van Bernoulli, P 1.24
- 1.16 Opvoerdruk
 - 1.16.1 Geodetische opvoerdruk, P 1.26
 - 1.16.2 Statische opvoerdruk, P 1.27
 - 1.16.3 Manometrische opvoerdruk, P 1.27
 - 1.16.4 Theoretische opvoerdruk, P 1.28
- 1.17 2de uitbreiding wet van Bernoulli, P 1.28
- 1.18 Vermogen, P 1.29
- 1.19 Voorbeeld 1.3, 1.30
- 1.20 Wet van Bernoulli in bewegende assenstelsels, P 1.32
- 1.21 Waterslag, P 1.33.
- 1.22 Stromingsmechanica
 - 1.22.1 Draagvleugelprofiel, P 1.34
 - 1.22.2 Toepassingen, P 1.36
- 1.23 Cavitatie
 - 1.23.1 Dampdruk, P 1.36
 - 1.23.2 Het verschijnsel cavitatie, P 1.37
- 1.24 NPSH, P 1.39
- 1.25 Voorbeeld 1.4, P 1.41
- 1.26 Voorbeeld 1.5, P 1.42



Bernoulli

Hoofdstuk 2: Oscillerende zuigerpompen

- 2.1 Werking, P 2.1
- 2.2 Debiet, P 2.1
- 2.3 Kleppen, P 2.2
- 2.4 Afdichting, P 2.3
- 2.5 Plunjerpompen, P 2.4
- 2.6 Handpomp, P 2.4
- 2.7 Dubbelwerkende zuigerpomp, P 2.5
- 2.8 Debietregeling
 - 2.8.1 Start-stop regeling, P 2.6
 - 2.8.2 Aantal cilinders, P 2.6
 - 2.8.3 Bypass regeling, P 2.6
 - 2.8.4 Openhouden zuigklep, P 2.6
 - 2.8.5 Ster-driehoek schakeling, P 2.7
 - 2.8.6 Frequentieomvormer, P 2.8
- 2.9 Membraanpompen, P 2.9.
- 2.10 Pulsatiedempers, P 2.12
- 2.11 Doseerpompen, P 2.13
- 2.12 Triplexpompen, P 2.15
- 2.13 Glijdende poort pomp, P 2.16
- 2.14 Hydrofoorinstallatie, P 2.18
- 2.15 Radiale plunjerpompen, P 2.19
- 2.16 Axiale plunjerpompen, P 2.21
- 2.17 Maximale zuighoogte
 - 2.17.1 Theoretisch, P 2.23
 - 2.17.2 Dampspanning, P 2.23
 - 2.17.3 Snelheid, P 2.24
 - 2.17.4 Barometerstand, P 2.24
 - 2.17.5 Wrijving, P 2.24
 - 2.17.6 Versnelling
 - Kinematica, P 2.25
 - Dynamica, P 2.26
- 2.18 Luchtdruksetels
 - Zuigzijde, P 2.28
 - Perszijde, P 2.29
- 2.19 Manometrische opvoerdruk, P 2.29
- 2.20 Theoretische opvoerdruk, P 2.30
- 2.21 Vermogen en rendement, P 2.31
- 2.22 Voorbeeld, P 2.32
- 2.23 Karakteristieken
 - Karakteristiek van het systeem, P 2.35
 - Karakteristiek van de pomp, P 2.35
- 2.24 Debietregeling P 2.35
- 2.25 NPSH, P 2.35
- 2.26 Ontlastklep, P 2.36
- 2.27 Besluiten, P 2.36



Triplex pomp

Hoofdstuk 3: Roterende zuiger pompen

- 3.1 Lobbenpomp, P 3.1
- 3.2 Tandwielpompen
 - 3.2.1 Uitwendige vertanding, P 3.7
 - 3.2.2 Inwendige vertanding, P 3.8
 - 3.2.3 Gerotorpomp, P 3.9
 - 3.2.4 Drukregeling verdringerpompen, P 3.10
- 3.3 Peristaltische pomp, P 3.11
- 3.4 Schottenpomp, P 3.12
- 3.5 Wormpompen, P 3.13
- 3.6 Monopomp, P 3.16
- 3.7 Flexwaaierpomp, P 3.19
- 3.8 Excentrische rotor pomp, P 3.20
- 3.9 Overzicht, P 3.21



Kniepom (Bosh-Rexroth)

Hoofdstuk 4: Radiale turbopompen

- 4.1 Werking, P 4.1
- 4.2 Waaivormen
 - 4.2.1 Gesloten waaier, P 4.3
 - 4.2.2 Halfopen waaier, P 4.3
 - 4.2.3 Open waaier, P 4.3
- 4.3 Snelheidsdriehoeken, P 4.3
- 4.4 Debiet
 - 4.4.1 Definitie, P 4.4
 - 4.4.2 Debietsbepalende component van de snelheid, P 4.4
 - 4.4.3. Het relatieve debiet, P 4.5
- 4.5 Statische drukstijging in gesloten pomp, P 4.6
- 4.6 Theoretische opvoerdruk
 - 4.6.1 Wet van Bernoulli in roterend stelsel, P 4.8
 - 4.6.2 Bespreking, P 4.8
 - 4.6.3 Theoretische opvoerdruk, P 4.9
 - 4.7. Voorbeeld 4.1, P 4.10
- 4.8 Voorbeeld 4.2, P 4.11
- 4.9 Voorbeeld 4.3., P 4.12
- 4.10 Diffusor, P 4.13
- 4.11 Invloed van de schoepvorm
 - 4.11.1 Grafisch, P 4.15
 - 4.11.2 Analytisch, P 4.16
 - 4.11.3 Bespreking, P 4.16
- 4.12 Correctie op de theoretische druk, P 4.17
- 4.13 Axiaalkracht, P 4.18
- 4.14 Verliezen
 - 4.14.1 Wrijvingsverliezen, P 4.18
 - 4.14.2 Stootverliezen, P 4.19
 - 4.14.3 Voorbeeld 4: stootverliezen, P 4.19
 - 4.14.4 Stroming recirculatie, P 4.20
 - 4.14.5 Roterend stall-verschijnsel, P 4.20
- 4.15 Werkelijke pompkarakteristiek, P 4.21
- 4.16 Pompvermogen, P 4.21
 - Schijfverliezen, P 4.21
 - Volumetrische verliezen, P 4.22
 - Mechanische verliezen, P 4.22
 - Vermogen van de pomp, P 4.22
- 4.17 Pomprendement, P 4.22
- 4.18 Werkpunt, P 4.23



Radiale turbopomp

- 4.19 Invloed toerental, P 4.23
- 4.20 Stabiliteit, P 4.23
- 4.21 Pompage (surge), P 4.25
- 4.22 Vertakte persleiding, P 4.25
- 4.23 1ste set van gelijkvormigheidswetten, P 4.26
- 4.24 Voorbeeld P 4.27
- 4.25 2^{de} set van gelijkvormigheidswetten, P 4.28
- 4.26 Toepassingsveld, P 4.28
- 4.27 Debietregeling
 - Smoorregeling, P 4.29
 - Bypass regeling, P 4.30
 - Toerentalregeling, P 4.31
 - Vergelijking, P 4.31
- 4.28 Opstarten van de pomp, P 4.32
- 4.29 Hogedrukpompen, P 4.34

Hoofdstuk 5: Axiale turbopompen

- 5.1 Werking, P 5.1
- 5.2 Debiet
 - 5.2.1 De doorstroomsnelheid, P 5.2
 - 5.2.2 Het doorstroomoppervlak A' , P 5.2
- 5.3 Theoretische opvoerdruk, P 5.3
- 5.4 Voorbeeld 5.1, P 5.4
- 5.5 Diffusor, P 5.5
- 5.6 Schoepprofiel, P 5.5
- 5.7 Halfaxiale pompen
 - 5.7.1 Motivatie, P 5.6.
 - 5.7.2 Helicoïdaalpompe (Francis type), P 5.6
 - 5.7.3 Diagonaalpompe, P 5.8
- 5.8 Karakteristieken, P 5.9
- 5.9 Debietregeling
 - 5.9.1 Klassieke regelingen, P 5.11
 - 5.9.2 Variabele aanvalshoek, P 5.11
 - 5.9.3 Variabele schoephoek, P 5.13
 - 5.9.4 Variable diffusorschoepen, P 5.14
- 5.10 Meertraps axiale turbopompen, P 5.14
- 5.11 Overzicht werkgebied turbopompen, P 5.15
- 5.12 Archimedesschroef, P 5.16



Axiaalpompe

Hoofdstuk 6: Turbopompen - Gevorderd

- 6.1 Serieschakeling, P 6.1
- 6.2 Parallelschakeling
 - 6.2.1 Eenvoudig geval, P 6.1
 - 6.2.2 Geval met stuk stijgende karakteristiek, P 6.3
- 6.3 1^{ste} kengetal van Rateau, P 6.3
- 6.4 2^{de} kengetal van Rateau, P 6.4
- 6.5 Homologe serie pompen, P 6.5
- 6.6 Het specifieke toerental, P 6.8
- 6.7 Invloed van de viscositeit, P 6.10
- 6.8 Cavitatie
 - 6.8.1 Algemeen, P 6.12
 - 6.8.2 Tegengaan cavitatie, P 6.13
 - 6.8.3 NPSH-karakteristieken, P 6.13
 - 6.8.4 Inducers, P 6.14



Cavitatie

- 6.9 Parabolen van constante N_s , P 6.16
- 6.10 Zuigspecifieke snelheid, P 6.17
- 6.11 Dompelpompen, P 6.18
- 6.12. Elektropompen, P 6.20
- 6.13 Verontreinigde vloeistoffen, P 6.21
- 6.14 Versnijderpompen, P 6.22
- 6.15 Opstellingen: Engelse terminologie, P 6.22

Hoofdstuk 7: Speciale Turbinepompen

- 7.1 Zijkanaalpompe, P 7.1
- 7.2 Perifere pompe, P 7.4
- 7.3 Pitotbuis pompe, P 7.5
- 7.4 Vortexpompe, P 7.7
- 7.5 Overzicht werkgebieden, P 7.8



Zijkanaalpompe

Hoofdstuk 8: Pompen met drijfmiddel

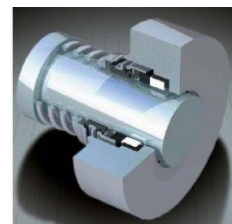
- 8.1 Algemeen, P 8.1
- 8.2 Vloeistofstraal vloeistofpompen, P 8.2
- 8.3 Vloeistofstraal vastestof pompe, P 8.3
- 8.4 Vloeistofstraal mengers, P 8.4
- 8.5 Stoomstraal vloeistofpompen, P 8.4
- 8.6 De feedbackpompe, P 8.4
- 8.7 Lucht drukpompe, P 8.5



Ejector (VOS)

Hoofdstuk 9: Afdichtingen

- 9.1 O-ringen, P 9.1
- 9.2 Olie-afdichtingen
 - 9.2.1 Algemeen, P 9.1
 - 9.2.2 Labyrintafdichting, P 9.2
 - 9.2.3 Lipafdichtingen, P 9.3
 - 9.2.4 V-ring-afdichtingen, P 9.5
- 9.3 Stopbuspakkingen, P 9.6
- 9.4 Lantaarnringen, P 9.9
- 9.5 Mechanische afdichtingen
 - 9.5.1 Inleiding, P 9.10
 - 9.5.2 Niet evenwichtige mechanische afdichtingen, P 9.12
 - 9.5.3 Evenwichtige afdichting, P 9.14
 - 9.5.4 De verschillende configuraties, P 9.15
 - 9.5.5 Berekening van de lekstroom, P 9.19
 - 9.5.6 Materialen afdichtingsringen, P 9.20
 - 9.5.7 Cartridge afdichtingen, P 9.20
- 9.6 Hydrodynamische afdichting met tegenschoepen, P 9.20
- 9.7 Hydrodynamische mechanische afdichtingen, P 9.21
- 9.8 Zwevende ring-afdichtingen, P 9.21
- 9.9 Hermetische pompen
 - 9.9.1 Magnetische koppeling, P 9.23
 - 9.9.2 Buspompe, P 9.25



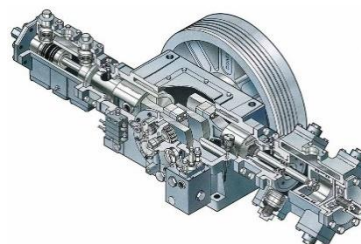
Mechanische afdichting

Hoofdstuk 10: Compressoren: Algemeen

- 10.1 Terminologie, P 10.1
- 10.2 Normaalvolume, P 10.1
- 10.3 Ideale gassen, P 10.1
- 10.4, Definitie compressiearbeid, P 10.2
- 10.5 Klassieke soorten toestandsveranderingen
 - Isotherme, P 10.3
 - Adiabaat, P 10.3
 - Polytroop, P 10.4
- 10.6 Berekening compressiearbeid, P 10.4
- 10.7 Technische arbeid, P 10.5
- 10.8 Debiet, P 10.6
- 10.9 Technisch vermogen, P 10.7
- 10.10 Straalbuizen, P 10.7
- 10.11 Types compressoren, P 10.8
- 10.12 Psychrometrie
 - 10.12.1 Partiële druk, P 10.9
 - 10.12.2 Equivalente molaire massa, P 10.9
 - 10.12.3 Vochtige lucht, P 10.11
 - 10.12.4 Waterinhoud, P 10.11
 - 10.12.5 Verzadigde en onverzadigde lucht, P 10.11
 - 10.12.6 Relatie tussen x en p_w , P 10.12
- 10.13 Warmtewisselaars, P 10.12
- 10.14 Warmtestroom, P 10.14
- 10.15 Koelmachines, P 10.15

Hoofdstuk 11: Oscillerende zuiger compressoren

- 11.1 Indicator diagram, P 11.1
- 11.2 Componenten mechanisme, P 11.2
- 11.3 Cilinders, P 11.2
- 11.4 Afdichting, P 11.4
- 11.5 Kleppen, P 11.5
- 11.6 Volumetrisch rendement, P 11.6
- 11.7 Membraancompressor, P 11.8
- 11.8 Technische arbeid, P 11.9
- 11.9 Isotherme compressie, P 11.10
- 11.10 Polytropische compressie, P 11.11
- 11.11 Specifieke arbeid, P 11.12
- 11.12 Compressie, verplaatsings- en technische arbeid, P 11.13
- 11.13 Voorbeeld P 11.13
- 11.14 Koeling, P 11.17
- 11.15 Rendement zuigercompressor, P 11.18
- 11.16 Tweetrapscompressor
 - 11.16.1 Motivatie, P 11.19
 - 11.16.2 Algemeen, P 11.21
 - 11.16.3 Indicator-diagram, P 11.22
 - 11.16.4 Tussendruk, P 11.22
 - 11.16.5 Arbeid per trap, P 11.23
 - 11.16.6 Compressietemperatuur, P 11.23
 - 11.16.7 Volumetrisch rendement, P 11.24
 - 11.16.8 Cilinder afmetingen, P 11.24
 - 11.16.9 Opstelling, P 11.25
- 11.17 Drie- en meertrapscompressoren, P 11.25
- 11.18 Problemen met watercondensatie, P 11.27
- 11.19 Regeling debiet
 - 11.19.1 Toerental, P 11.27
 - 11.19.2 Smoring aanzuiglijn, P 11.28
 - 11.19.3 Openhouden zuigklep, P 11.29
 - 11.19.4 Dode ruimte, P 11.30
 - 11.19.5 Andere regelingen, P 11.30



Zuigercompressor

- 11.20 Zuiger koelcompressor, P 11.31
- 11.21 Besluiten, P 11.33

Hoofdstuk 12: Roterende zuiger compressoren

- 12.1 Rootscompressor
 - 12.1.1 Werking, P 12.1
 - 12.1.2 Technische arbeid, P 12.1
 - 12.1.3 Eigenschappen, P 12.2
- 12.2 Schottencompressor
 - 12.2.1 Werking, P 12.5
 - 12.2.2 Ontwerp- en persdruk, P 12.5
 - 12.2.3 Eigenschappen, P 12.6
 - 12.2.4 Regeling, P 12.7
- 12.3 Schroefcompressor
 - 12.3.1 Werking, P 12.8
 - 12.3.2 Eigenschappen, P 12.10
 - 12.3.3 Regeling, 12.11
 - 12.3.4 Koelcompressor, 12.13
- 12.4 Mono schroefcompressor
 - 12.4.1 Werking, P 12.14
 - 12.4.2 Eigenschappen, P 12.16
 - 12.4.3 Regeling, P 12.16
- 12.5 Scrollcompressor, P 12.18
- 12.6 Tandrotorcompressor, P 12.20
- 12.7 Rollende zuiger, P 12.21
- 12.8 Compressor met wattering
 - 12.8.1 Werking, P 12.23
 - 12.8.2 Eigenschappen, P 12.24
- 12.9 Regeling roterende verdringer compressoren, P 12.24



Scrollcompressor

Hoofdstuk 13: Radiale ventilatoren

- 13.1 Algemeen, P 13.1
- 13.2 Statische en dynamische druk, P 13.2
- 13.3 Schoeotypes, P 13.4
- 13.4 Gedrag van verschillende waaivormen, P 13.6
- 13.5 Case Study 13.1
 - 13.5.1 Algemeen, P 13.7
 - 13.5.2 Selectie van een ventilator, P 13.9
- 13.6 Turbo centrifugaalventilator
 - 13.6.1 Algemeen, P 13.14
 - 13.6.2 Toepassingen, P 13.15
- 13.7 Case Study 13.2, P 13.16
- 13.8 Afdichting, P 13.18



Turboventilator

Hoofdstuk 14: Axiale ventilatoren

- 14.1 Algemeen, P 14.1
- 14.2 Soorten axiale ventilatoren
 - Kanaalventilator, P 14.2
 - Axiale ventilator met diffusor, P 14.3
 - Propeller axiaalventilator, P 14.3
- 14.3 Diagonale ventilator, P 14.5
- 13.4 Tweetraps uitvoering, P 14.5
- 14.5 Reactiegraad, P 14.6
- 14.6 Contraroterende axiaalventilatoren, P 14.9
- 14.7 Variabele spoed, P 14.10

14.8 Voorbeeld: turbofan, P 14.13

Hoofdstuk 15: Speciale turboventilatoren

15.1 Kruisventilatoren, P 15.1

15.2 Zijkanaalventilatoren, P 15.2

Hoofdstuk 16: Radiale turbocompressoren

16.1 Algemeen, P 16.1

16.2 Tussenkoeling, P 16.4

16.3 Compressor met tandwieloverbrenging, P 16.5

16.4 Toepassingen, P 16.6

16.5 Olie, P 16.7

16.6 Pompgrens (surge), P 16.7

16.7 Anti-surge-maatregelen, P 16.9

16.8 Choke, P 16.9

16.9 Besluiten, P 16.10

16.10 Koelcompressor, P 16.10

16.11 Debietregeling

 Toerental, P 16.14

 Smoring, P 16.14

 Variabele inlaat leischoepen, P 16.14

 Variabele diffusorschoepen, P 16.16

16.12 Isentropisch rendement, P 16.16

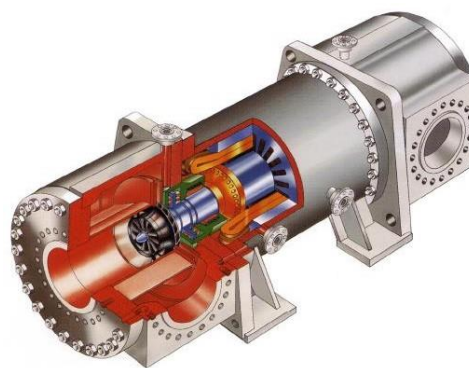
16.13 Polytropisch rendement

 16.13.1 Adiabaat met wrijving, P 16.19

 16.13.2 Definitie polytropisch rendement, P 16.20

 16.13.3 Berekening polytropisch rendement, P 16.21

 16.13.4 Vergelijking isentropisch-polytropisch rendement, P 16.22



Centrifugaalcompressor

Hoofdstuk 17: Axiale turbocompressoren

17.1 Algemeen, P 17.1

17.2 Voorbeeld 17.1, P 17.2

17.3 Hybride turbocompressor, P 17.5

17.4 Regeling, P 17.5

17.4 Axiaal versus radiaalcompressor, P 17.6

17.5 Werkgebied turbocompressor, P 17.7

Hoofdstuk 18: Injectors

18.1 Stoomstraal compressor

 18.1.1 Algemeen, P 18.1

 18.1.2 Injector met mengwarmtewisselaar, P 18.2

 18.1.3 Injector met oppervlaktewarmtewisselaar, P 18.3

18.2 Gasinjector, P 18.4

18.3 Toepassingen, P 18.5



Hoofdstuk 19: Vacuümpompen

- 19.1 Kinetische gastheorie, P 19.1
- 19.2 Formatietijd, P 19.2
- 19.3 Vacuüm meetapparatuur
 - 19.3.1 Inleiding, P 19.2
 - 19.3.2 Bourdon meetapparatuur, P 19.3
 - 19.3.3 Pirani meetapparatuur, P 19.3
 - 19.3.4 Thermokoppels, P 19.4
 - 19.3.5 Capacitieve membraanmeter, P 19.4
 - 19.3.6 Kathodemeters, P 19.5
- 19.4 Stromingtypes, P 19.6
- 19.5 Grof vacuüm
 - 19.5.1 Membraanpompen, P 19.7
 - 19.5.2 Stoomstraalpijpen vacuümpomp, P 19.8
 - 19.5.3 Vloeistofejector vacuümpomp, P 19.11
 - 19.5.4 Gasstraal vacuümpomp, P 19.12
 - 19.5.5 Centrifugaal vacuümpomp, P 19.12
 - 19.5.6 Vloeistofringvacuümpompen, P 19.13
- 19.6 Fijn vacuüm
 - 19.6.1 Schottenpomp, P 19.13
 - 19.6.2 Gasballast, P 19.15
 - 19.6.3 Worm- en schroefvacuümpompen, P 19.16
 - 19.6.4 Scroll-vacuümpomp, P 19.17
 - 19.6.5 Rollende zuiger, P 19.17
 - 19.6.6 Rootsvacuümpomp, P 19.18
 - 19.6.7 Klauw-vacuümpomp, P 19.20
- 19.7 Hoog vacuüm
 - 19.7.1 Diffusiepompen, P 19.22
 - 19.7.2 Diffusie-ejectorpompen, 19.24
 - 19.7.3 Turbomoleculaire pompen, P 19.25
- 19.8 Ultrahoog vacuüm
 - 19.8.1 Sorptiepompen, P 19.26
 - 19.8.2 Adsorptiepompen, P 19.26
 - 19.8.3 Sublimatiepompen, P 19.28
 - 19.8.4 Ion-getter-pompen, P 19.28
- 19.9 Overzicht werkgebied vacuümpompen, P 19.30



Waterring vacuümpomp

Gebruikte symbolen

Eenheden

m (afstand) meter
 kg (massa) kilogram
 s (tijd) Seconde
 N (kracht) Newton
 J (arbeid) Joule
 W (vermogen) Watt
 K (absolute temperatuur) Kelvin
 °C (relatieve temperatuur t.o.v. smeltpunt water) graden Celsius
 kmol (massa) kilomol
 omwentelingen (t)
 Pa druk (Pascal)
 rad (hoek) radialen
 ° (hoek in zestigdelige graden)

Eenheden worden in dit boek, te uwen gerieve, steeds tussen vierkante haakjes [] geplaatst.

Variabelen

symbool	betekenis	eenheden
a	versnelling	m/s^2
a'	versnelling in zuigleiding	m/s^2
A	oppervlakte	m^2
A'	loodrecht oppervlak, dwarsoppervlakte	m^2
b	diepte waaier	m
c	absolute snelheid aan inlaat rotor	m/s
c_p	soortelijke warmte bij constante druk	J/kg.K
c_v	soortelijke warmte bij constante volume	J/kg.K
C_x	sleeppoëfficiënt	-
C_z	liftcoëfficiënt	-
d	diameter	
D	diameter, sleepkracht	m
F	kracht	N
F_c	centrifugaalkracht	N
g	versnelling gravitatieveld	m/s^2
h	specifieke enthalpie	J/kg
H	hoogte	m
k	absolute ruwheid	m
l_1	afgelegde afstand tijdens zuigslag	m
l_2	afgelegde afstand tijdens persslag	m
L	lengte zuigerstang, liftkracht, lengte	m
L'	fictieve lengte	m
m	massa	kg
m^*	verplaatste massa	ssa
M	molaire massa	kg/kmol
\bar{M}	moment	N.m
n	polytropische exponent	-
N	toerental	t/s
N_s	specifiek toerental	$m^{3/4} \cdot s^{-3/2}$
N_{ss}	zuig specifieke snelheid	$m^{3/4} \cdot s^{-3/2}$
N_ω	dimensieloos specifiek toerental	-
O_{cd}	oppervlakte onder curve cd	J
O_{ab}	oppervlakte onder curve ab	J

p	statische druk	Pa
\bar{p}	impulsvector	kg.m/s
p_A	afdichtingsdruk	Pa
p_d	dampdruk	Pa
p_{man}	manometrische druk	Pa
p_{geo}	geodetische druk	Pa
p_{dyn}	dynamische druk	Pa
p_{tot}	totale druk	Pa
p_s	statische druk	Pa
$p_{tot,s}$	totale druk aan zuigzijde	Pa
$p_{tot,p}$	totale druk aan perszijde	Pa
p_a	atmosferische druk	Pa
P	pomp- of compressorvermogen	W
P_t	technisch vermogen	W
Q_M	massadebiet	kg/s
Q_s	warmtestroom	W
Q_V	volumetrische debiet	m ³ /s
$Q_{v,g}$	gemiddeld volumetrische debiet	m ³ /s
$Q_{v,n}$	nominaal volumetrische debiet	m ³ /s
q	specifieke warmtehoeveelheid	J/kg
r	straal	m
R	universele gasconstante	J/kmol.K
R	kruklengte	m
R	kracht op hydraulisch oppervlak	
s	slaglengte	m
s	specifieke entropie	J/kg.K
S	sluitkracht	N
t	tijd	s
T	absolute temperatuur	K
u	omtreksnelheid waaier	m/s
v	specifiek volume	m ³ /kg
V	totaal volume	m ³
V_d	dood volume	m ³
V_s	slagvolume	m ³
V_t	toelaatvolume	m ³
w	relatieve snelheid	m/s
w	specifieke arbeid	J/kg
w_c	specifieke compressiearbeid	J/kg
w_t	specifieke technische arbeid	J/kg
W_c	totale compressiearbeid	J
W_t	Totale technische arbeid	J
x	positie	m
x	dampmgehalte	-
z	aantal schoepen	-
z	hoogte in gravitatieveld	m

Indices

I	aanzuigkamer
II	perskamer
\perp	loodrecht
	evenwijdig
1	toestand 1, inlaat waaier
2	toestand 2, uitlaat waaier
3	toestand 3
a	toestand a
b	toestand b, buik
c	toestand c
c	compressie
d	toestand d
d	damp
dl	droge lucht
g	gemiddeld
geo	geodetisch
k	ketel
man	manometrisch
n	nat
s	slag
sch	schijf
H	hydraulisch
k	ketel
p	persslag, persketel
pol	polytropisch
r	rug, radiaal
s	isentropisch, statisch
sat	saturatie (verzadiging)
st	stoot
sch	schijf
t	technisch, top
th	theoretisch
v	verlies
v	voet
w	wrijving, water
z	zuigslag, zuigketel
ab	toestandsverandering ab
ac	toestandsverandering ac
cd	toestandsverandering cd
12	toestandsverandering 12
13	toestandsverandering 13
23	toestandsverandering 23

Bovenindices

‘	1ste trap
“	2de trap

Griekse symbolen

α	absolute hoek	° or rad
β	relatieve hoek	° of rad
γ	isentropische exponent	-
δ	dikte laminaire grenslaag	m
δ	correctiefactor plaatselijke weerstand laminaire stroming	-
ε	relatieve ruwheid, coëfficiënt dode ruimte	-
γ	Isentropische exponent	-
ρ	soortelijke massa	kg/m ³
τ	schuifspanning	s
χ	correctiefactor laminaire stroming Bernoulli	-
Δ	verschil	-
Δh	Geodetical height	m
λ	hydraulische weerstand, volumetrisch rendement	-
λ	gemiddelde vrije weglengte	m
v	axiale snelheid	m/s
ν	kinematische viscositeit	m ² /s
$\varphi(\dots)$	functie van	-
ϕ	evenredigheidscoëfficiënt	-
ω	hoeksnelheid	rad/s
Σ	som	-
ξ	hydraulische weerstandsfactor	-
Γ	reactiegraad	-
Θ	hoek	rad
Π	product	-
Π_1	1ste getal van Rateau	-
Π_2	2de getal van Rateau	m ⁻¹ .s ²
σ	Thoma parameter	-
ζ	correctiefactor laminaire stroming	-
η	dynamische viscositeit	Pa.s
η	rendement	-
η_H	hydraulisch rendement	-
η_i	rendement installatie	-
η_{iso}	isentropisch rendement compressor	-
η_c	rendement compressor	-
η_p	rendement pomp	-
η_{pol}	polytropisch rendement compressor	-
η_m	mechanisch rendement	-
η_v	volumetrisch rendement	-
ζ	correctiefactor niet-cirkelvormige doorsnede	-

Hoofdstuk 1 Algemene begrippen

1.1. Hydrostatica

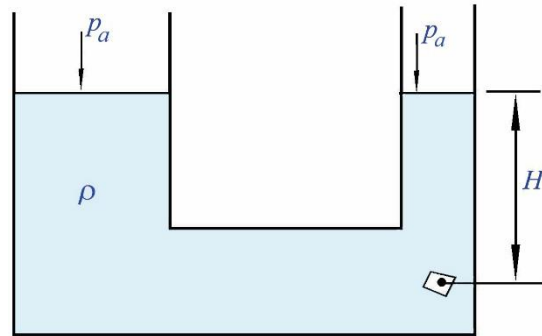
Bij vloeistoffen in rust geldt de zgn. wet van Pascal (Figuur 1.1):

$$p = p_a + \rho \cdot g \cdot H \quad (1.1)$$

Waarin:

- p : de statische druk in het beschouwde punt [$\text{Pa}=\text{N}/\text{m}^2$]
- p_a : de atmosferedruk (ca. 1 [bar] = 10^5 [Pa])
- ρ : de soortelijke massa van de vloeistof [kg/m^3]
- g : valversnelling [$9,81 \text{ m}^2/\text{s}$]
- H : de hoogte beneden het vloeistofoppervlak [m]

De standaarddruk op zeeniveau bedraagt 1,013 [bar]. Deze druk is een *absolute* druk.



Figuur 1.1: Wet van Pascal

In de praktijk is meestal de *relatieve*, of *effectieve* druk p_{eff} van belang. Deze is het verschil tussen de absolute druk p_{abs} en de atmosferische druk p_a .

$$p_{eff} = p_{abs} - p_a$$

We onderscheiden volgende druk meettoestellen:

- Een *manometer* meet in het algemeen een effectieve druk, dat is een overdruk (t.o.v. de atmosferische druk).
- Een *vacuümmeeter* meet een onderdruk (t.o.v. de atmosferische druk)
- Een *barometer* meet de absolute druk van de atmosfeer

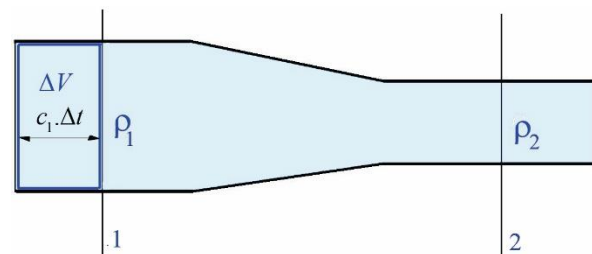
Wat de eenheden betreft wordt tegenwoordig meer en meer een duidelijke notatie aangehouden. Men noteert als volgt: [bar(g)] of [bar_g] voor effectieve druk ("g" staat voor gauge = ijk) en [bar(a)] of [bar_a] voor absolute druk.

De wet van Pascal kan in eerste benadering worden toegepast voor gassen voor zoverre de afstand H niet te groot is, zodat mag worden aangenomen dat de soortelijke massa constant is.

1.2. Debiet

Beschouw een pijp met variabele doorsnede (Figuur 1.2). Bij sectie 1 bezit het fluïdum een snelheid c en soortelijke massa ρ . De dwarsoppervlakte is daar A_1 . Gebruik analoge notaties voor sectie 2.

De waarneming gebeurt vanaf tijdstip t_1 . Op plaats 1 wordt de toestand van het fluïdum (gas of vloeistof), gegeven door druk en temperatuur (of door een andere combinatie van druk, temperatuur en soortelijk volume) weergegeven door cijfer 1.



Figuur 1.2: Debiet

Op tijdstip t_2 bevindt het fluïdum zich in toestand 2, op plaats 2.

In dat tijdsinterval $t_2 - t_1$ heeft de waarnemer een massahoeveelheid Δm zien voorbijkomen. Het waarnemingsinterval Δt bedraagt dan:

$$\Delta t = t_2 - t_1$$

Het massadebiet wordt gedefinieerd als de hoeveelheid massa die per tijdseenheid door een sectie stroomt. Het massadebiet Q_{M1} op plaats 1 kan geschreven worden als:

$$Q_{M1} = \frac{\Delta m}{\Delta t}$$