



VRIJ TECHNISCH INSTITUUT
SINT - ALOYSIUS
PAPEBRUGSTRAAT 8A
8820 TORHOUT

VENTILATORKARAKTERISTIEK

Mentor : VERHAEGHE Dirk
DE LAERE Miranda

Naam leerling : BRAL Lander
Nummer : 2
Naam leerling : VANMASSENHOVE Bert
Nummer : 9
Klas : 614
Richting : Industriële Wetenschappen

DOSSIER GEINTEGREERDE PROEF

Woord vooraf

Om ons diploma 6^{de} jaar Industriële Wetenschappen te behalen werd ons gevraagd om een geïntegreerde proef te maken. De bedoeling van de geïntegreerde proef is om te bewijzen dat we na 6 jaar secundair onderwijs zelfstandig kunnen werken en dat we de verschillende leerstofonderdelen onder de knie hebben.

We hebben het opmeten van ventilatorkarakteristieken als onderwerp gekozen omdat het ons, met het oog op hogere studies, zeer nuttig leek om samen te kunnen werken met een bedrijf. Dit met het oog op hogere studies. Verder vonden we dit onderwerp interessant omdat het geen zuiver theoretische beschouwing is, maar we ook de handen uit de mouwen konden steken tijdens de metingen.

Van dit woord vooraf willen we ook gebruik maken om enkele mensen te vermelden die onze dank verdienen omdat ze ons geholpen hebben bij het realiseren van dit werk.

Graag bedanken we de directie van Typhoon die voor de mogelijkheid gezorgd heeft om dit onderwerp te kunnen kiezen. In het bijzonder willen wij mevrouw Pattyn danken die ons elk moment heeft bijgestaan in het maken van onze geïntegreerde proef. Ook de mensen van de werkvloer in het bedrijf verdienen onze dank omdat ook zij ons ter plaatse geholpen hebben.

Wij appreciëren ten zeerste de medewerking van onze mentoren mevrouw De Laere en meneer Verhaeghe die steeds onze vragen wilden beantwoorden en voor hun hulp bij het uitvoeren van de metingen.

Naast hen gaat onze erkentelijkheid ook uit naar mevrouw Deprez voor het nalezen en verbeteren van de taalfouten. Verder bedanken we iedereen van de school die geholpen heeft bij het realiseren van dit werk.

Ten slotte willen we ook welgemeend dank betuigen aan onze ouders die het mogelijk maakten deze studies te voltooien en daarbij hun onvoorwaardelijke steun gaven.

Inhoudsopgave

INLEIDING	7
VOORSTELLING VAN TYPHOON.....	8
VOORSTELLING VAN TYPHOON	8
PRESENTATION OF TYPHOON.....	8
PRÉSENTATION DE TYPHOON	9
DEEL I THEORETISCHE VOORBESCHOUWING.....	10
1 DE VENTILATOR	11
1.1 DEFINITIE	11
1.2 VERSCHIL MET DE COMPRESSOR.....	11
1.3 TOEPASSINGSGEBIED VAN EEN VENTILATOR	11
1.4 SOORTEN VENTILATOREN.....	11
1.4.1 De radiaalventilator.....	12
1.4.1.1 Werkingsprincipe	12
1.4.1.2 Soorten radiaalventilatoren	13
1.4.2 Axiaalventilator.....	14
1.4.2.1 Werkingsprincipe	14
1.4.2.2 Soorten axiaalventilatoren.....	14
2 WET VAN BERNOULLI	16
2.1 STATIONAIRE STROMING	16
2.2 OPSTELLEN VAN DE ENERGIEVERGELIJKING.....	16
2.3 REGEL VAN CASTELLI	18
2.4 WET VAN BERNOULLI	19
2.4.1 De wet van Bernoulli als energievergelijking.....	20
2.4.2 De wet van Bernoulli als drukvergelijking.....	20
2.4.3 De grafische voorstelling van de wet van Bernoulli	21
3 DE VENTILATORKARAKTERISTIEK.....	22
3.1 DE VENTILATORDRUK	22
3.1.1 De statische drukstijging.....	22
3.1.2 De dynamische drukstijging.....	22
3.1.3 Besluit.....	23
3.2 HET DEBIET	23
3.2.1 De doorstromingscoëfficiënt α	24
3.2.2 Verklaring laminaire en turbulente stroming - Getal van Reynold	27
3.2.2.1 Laminaire stroming	27
3.2.2.2 Turbulente stroming	27
3.2.2.3 De viscositeit van gassen.....	28
3.2.2.4 Het getal van Reynold Rep.....	32
3.2.3 De expansiecoëfficiënt ϵ	32
3.3 DE PRAKTISCHE VENTILATORKARAKTERISTIEK.....	33
3.3.1 Theoretische curve	33
3.4 DE LEIDINGKARAKTERISTIEK	35
3.5 HET WERKPUNT.....	36

4 PROEFSTAND VOLGENS DIN 24163	37
4.1 OPSTELLINGSVORM VAN DE PROEFSTAND	37
4.2 OPBOUWVOLGORDE VAN HET GEKOZEN TYPE	38
5 <i>BESPREKING VAN DE PROEFSTANDONDERDELEN</i>	39
5.1 STORINGSVRIJE AANZUIGZONE.....	39
5.1.1 <i>Beschrijving en normering</i>	39
5.1.2 <i>Doel</i>	39
5.2 AANZUIGOPENING	39
5.2.1 <i>Beschrijving en normering</i>	39
5.2.2 <i>Doel</i>	40
5.3 GELIJKRICHTER	40
5.3.1 <i>Normering</i>	40
5.3.2 <i>Doel</i>	41
5.3.3 <i>Methodes van gelijkrichten</i>	41
5.3.3.1 <i>Leirad voor de rotor</i>	41
5.3.3.2 <i>Leirad na de rotor</i>	42
5.3.3.3 <i>Contrarotatie door een tweede rotor</i>	42
5.3.4 <i>Toepassing op de proefstand</i>	42
5.4 DEBIETMEETGEDEELTE	43
5.4.1 <i>Beschrijving</i>	43
5.4.2 <i>Normering</i>	43
5.4.3 <i>Doel</i>	44
5.5 REGELBARE WEERSTAND	44
5.5.1 <i>Beschrijving</i>	44
5.5.2 <i>Doel</i>	45
5.5.3 <i>Toepassing op de proefstand</i>	45
6 DRIEFASENMOTOR	46
6.1 ONTSTAAN VAN EEN DRIEFASENNET	46
6.2 DE STERSCHAKELING	47
6.2.1 <i>Opstelling</i>	47
6.2.2 <i>Hoofdeigenschap van de sterschakeling</i>	47
6.2.3 <i>Lijnspanning bij een sterschakeling</i>	47
6.3 DRIEHOEKSCHAKELING	48
6.3.1 <i>Opstelling</i>	48
6.3.2 <i>Hoofdeigenschap van de driehoeksschakeling</i>	48
6.3.3 <i>Lijnstroom bij een driehoeksschakeling</i>	49
6.4 DE ARBEIDSFACITOR	49
6.5 DE DRIEFASIGE MOTOR.....	50
6.6 DOEL VAN DRIEFASENSCHAKELING.....	51
7 HET RENDEMENT VAN EEN VENTILATOR	52
7.1 HET INGAAND VERMOGEN.....	52
7.1.1 <i>De elektrische meting</i>	52
7.1.2 <i>De mechanische meting</i>	53
7.2 HET UITGAAND VERMOGEN.....	54

DEEL 2 METINGEN	55
1 HOE VERLOOPT EEN METING?	56
1.1 DRUKMETINGEN.....	56
1.1.1 <i>Drukmeting met behulp van een waterkolom</i>	56
1.1.2 <i>Meting van het drukverschil over de blende</i>	59
1.2 DE TEMPERATUUR.....	60
1.3 RELATIEVE VOCHTIGHEID EN BAROMETERSTAND.....	61
1.3.1 <i>Relatieve vochtigheid</i>	61
1.3.2 <i>Barometerstand</i>	62
1.4 TOERENTALMETING.....	62
1.4.1 <i>Optische of foto-elektrische toerentalmeting</i>	62
1.4.2 <i>Inductieve toerentalmeting</i>	62
1.5 METING VAN DE HOEK.....	63
2 METING MET EEN BLENDE VAN 500 MM	64
2.1 ALGEMENE GEGEVENS.....	64
2.2 REKENVOORBEELD.....	65
2.3 FOUTENBEREKENING.....	66
2.3.1 <i>Het debiet</i>	66
2.3.2 <i>De totale opvoerdruk</i>	68
2.4 DE MEETRESULTATEN.....	69
2.3 DE VENTILATORKARAKTERISTIEKEN VOOR EEN BLENDE VAN 500 MM.....	73
2.5 BESPREKING VAN DE KARAKTERISTIEK VOOR DE BLENDE VAN 500 MM.....	74
3 METING MET EEN BLENDE VAN 600 MM	75
3.1 ALGEMENE GEGEVENS.....	75
3.2 DE MEETRESULTATEN.....	76
3.3 DE VENTILATORKARAKTERISTIEKEN VOOR EEN BLENDE VAN 600 MM.....	80
3.4 BESPREKING VAN DE KARAKTERISTIEK VOOR DE BLENDE VAN 600 MM.....	81
3.5 MEETFOUTEN.....	81
BESLUIT	82
BIJLAGEN	83
BIBLIOGRAFIE	84
LOGBOEK	85

Inleiding

Onze opdracht bestond erin om de ventilatorkarakteristieken van een ventilator type HSB 600 met de schoepen ingesteld op verschillende hoeken, op te meten. Deze metingen werden al eens uitgevoerd, maar men twijfelde aan de correctheid van deze metingen. Daarom werd ons gevraagd om dit eens te herhalen.

Als eerste hebben we een theoretische beschouwing gemaakt van de ventilatorkarakteristiek. Hierbij zijn wij begonnen met de bespreking van de verschillende types ventilatoren om de ventilator beter te leren situeren in de bedrijfswereid. Een belangrijke wet in de stroming van een fluïdum is de wet van Bernouilli en deze ontbreekt dan ook niet in onze geïntegreerde proef. Daarna hebben we opgezocht hoe een ventilatorkarakteristiek nu eigenlijk is opgebouwd. Ook de opbouw van de proefstand waar wij onze metingen op hebben uitgevoerd, komt aan bod. Deze proefstand die ter beschikking stond in het bedrijf, is opgebouwd volgens de Duits Norm DIN 24163. De ventilator wordt aangedreven door een driefasige motor. Daarom hebben wij ook het driefasige net besproken. In dit eerste deel komt als laatste het rendement van een ventilator aan bod.

In het tweede deel van onze geïntegreerde proef bespreken wij dan de metingen. Eerst leggen wij uit hoe we een meting uitvoerden. Vervolgens komen de resultaten aan bod samen met de bijhorende bespreking van de meetresultaten. Hieruit zullen we kunnen leren op welke hoek we de schoepen van de ventilator het beste instellen in functie van het opgenomen vermogen.

Als laatste hebben wij een besluit getrokken uit wat we geleerd hebben.

Voorstelling van Typhoon

Voorstelling van Typhoon

Typhoon is gesitueerd langs de Gentsheerweg in Izegem. Het opende zijn deuren in 1959 met de bouw van industriële ontstoffingsinstallaties en pneumatische transportsystemen. Bij de oprichting lag Typhoon gesitueerd in het hart van de spaanderindustrie, waaronder zich veel meubelfabrieken bevonden, waardoor er een grote vraag was naar ontstoffingsinstallaties.

Eind de jaren zeventig begon Typhoon ook pneumatische transportsystemen te bouwen voor andere doeleinden. De installaties konden nu ook gebruikt worden in o.a. de kunststof-, de tabak-, en de voedingsindustrie.

Momenteel zijn de ventilatoren van Typhoon over de hele wereld ingezet (o.a. bij waterzuiveringsinstallaties, verbrandingsovens, materiaaltransport, ...). Volgens Typhoon zelf hebben ze alle troeven om zichzelf leider in de pneumatische transportindustrie te noemen. Die troeven zijn onder meer:

- Hun totale projectiebegeleiding
- Een eigen studiebureau
- Een eigen montageploeg
- Een eigen constructieatelier wat voor flexibiliteit zorgt.

Presentation of Typhoon

Typhoon is situated at the Gentsheerweg in Izegem. In 1959 it opened its doors constructing industrial dust removers and pneumatic transportation systems. In the beginning Typhoon was situated in the middle of the chip industry with many furniture factories. That's why there was a big demand for dust removers.

At the end of the seventies Typhoon began with the construction of pneumatic transportation systems for other purposes. Now the installations can also be used in the synthetic, the tobacco and the food industry.

At the moment the ventilation systems of Typhoon are used over the whole world (for example for water treatment installations, incinerators, material transport,...). According to Typhoon they have all play trumps to be leader in the pneumatic transportation industry. These play trumps are:

- Their total coaching of projection
- Their own study office
- Their own construction team
- Their own construction workshop that provides flexibility

Présentation de Typhoon

Typhoon est situé à la Gentsheerweg à Izegem. Les portes sont ouvertes en 1959 avec la construction d'installations industrielles pour éloigner de matière et de systèmes de transport pneumatique. A sa création Typhoon était situé au coeur de l'industrie a copeau dont beaucoup d'usines de meubles ce qui stimula la demande d'installations pour éloigner du matière.

A la fin des années soixante-dix Typhoon commença aussi a construire des systèmes pneumatiques à transport à 'autres fins e.a. pour l'industrie de matière synthétique, du tabac et pour l'industrie alumentaire.

Maintenant les ventilateurs de Typhoon sont utilisés par toutes les industries. (par exemple dans des stations d'épuration, dans les incinérateurs, dans le transport de matériel,...) Selon Typhoon ils ont tous les atout pour être le leader dans le marché des systèmes pneumatiques à transport. Ces atout sont (selon Typhoon):

- Leur assistance de project totale
- Leur propre bureau à étude
- Leur propre équipe à installer
- Leur propre atelier de construction qui permet la flexibilité.

DEEL 1

THEORETISCHE VOORBESCHOUWING

1 De Ventilator

1.1 Definitie

Een ventilator is een toestel dat door zijn aërodynamische werking op een continue wijze lucht voortstuwt. Het is eigenlijk een toestel dat elektrische energie omzet in druk en luchtverplaatsing (luchtstroom).

1.2 Verschil met de compressor

Uit de definitie volgt dat er bij een ventilator drukverhogingen gecreëerd worden. Ook bij compressoren ontstaan er drukverschillen. Naast de constructie ligt het verschil tussen een ventilator en een compressor bij de grootte van de drukverhogingen. Is deze drukverhoging lager dan 0,5 bar of 500 hPa dan spreken we van een ventilator. Als deze groter is, spreken we van een compressor. Je kunt dus stellen dat bij een ventilator alleen een hoeveelheid lucht of gas verplaatst wordt, zonder dat daarbij drukverhogingen optreden. De druk zorgt alleen voor het overwinnen van de weerstand in de leidingen.

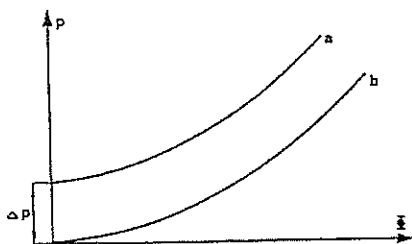


fig. 1

Lijn a: $f(\Phi) = p$ voor een compressor

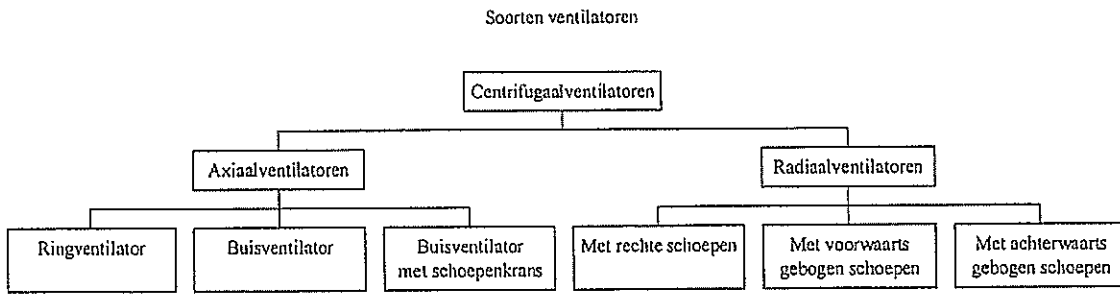
Lijn b: $f(\Phi) = p$ voor een ventilator

1.3 Toepassingsgebied van een ventilator

Ventilatoren worden hoofdzakelijk gebruikt in verwarming-, ventilatie-, en airconditioningsystemen. Verder vinden we ze ook terug in het transportsystemen van grondstoffen en afzuiginstallaties in keukens en industriële bedrijven. Ze worden daar dan ook zeer regelmatig toegepast.

1.4 Soorten ventilatoren

Ventilatoren worden ingedeeld aan de hand van de doorstroomwijze van de lucht of het gas. Deze doorstroomwijze kan gebeuren op twee verschillende manieren. Daaruit volgt dat ventilatoren opgedeeld kunnen worden in twee hoofdtypes namelijk radiaal ventilatoren en axiaal ventilatoren.



1.4.1 De radiaalventilator

Wanneer de lucht evenwijdig met de hoofdas aangezogen wordt maar loodrecht op de hoofdas uitgeblazen wordt, spreken we van een radiale ventilator. Bij de radiaalventilator is niet enkel de luchtverplaatsing van belang, maar is het ook belangrijk dat er een drukverhoging gecreëerd wordt.

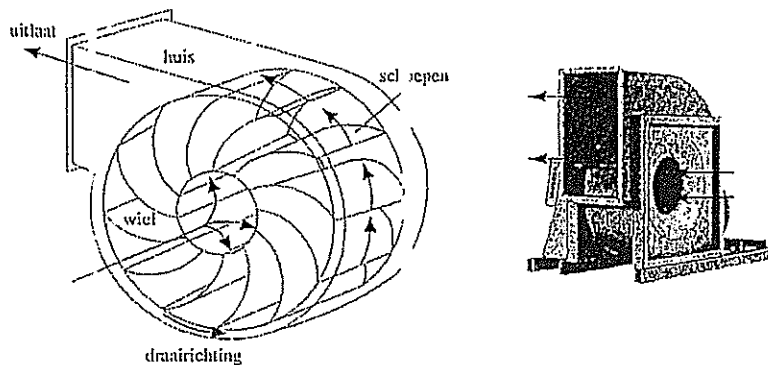


fig. 2

1.4.1.1 Werkingsprincipe

Bij een centrifugale ventilator draaien de schoepen in het zogenaamde slakkenhuis (zie ook bovenstaande foto). De inlaatrichting van de lucht is evenwijdig met de as waarop de ventilatorschoepen zijn geplaatst. Door het ronddraaien van de schoepen wordt de lucht via de buitenwand van het slakkenhuis naar buiten geduwd. Bij het naar buiten stuwen van de lucht ontstaat er een onderdruk aan de inlaat van ventilator. Hierdoor ontstaat een zuigkracht met als gevolg een continue luchtstroom.

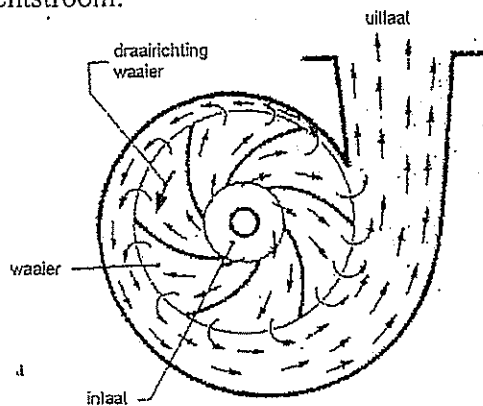


fig. 3

1.4.1.2 Soorten radiaalventilatoren

Radiaalventilatoren kunnen nog verder onderverdeeld worden. Het verschil kan gemaakt worden op basis van - de opvoerhoogte van de druk.

- de vorm van de schoepen.
- de uitvoering van de aanzuiging.
- het aantal schoepen.

In de meeste boeken wordt de onderverdeling gemaakt naar de vorm van de schoepen. Daarom zullen ook wij enkel de onderverdeling verklaren aan de hand van de vorm van de schoepen. Daaruit volgen volgende types:

a. De radiaalventilator met rechte schoepen:

Dit type radiaalventilator heeft de eenvoudigste constructie. De schoepen staan haaks op de as van de ventilator. Het negatieve gevolg van deze eenvoudige constructie is dat de snelheid van de luchtverplaatsing lager ligt dan bij de andere types. Het gevolg hiervan is dat het debiet eveneens lager ligt. Als bij een even hoge draaisnelheid van de ventilator een lager debiet hoort, heb je een lager rendement. Het rendement is dan ook het laagste van alle radiaalventilatoren. Het positieve aan de eenvoudige constructie is dat de ventilator zeer gemakkelijk te repareren is. Mede hierdoor wordt de ventilator vooral gebruikt bij het transporteren van grondstoffen

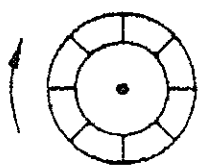


fig. 4

b. De radiaal ventilator met voorwaarts gebogen schoepen:

Het constructieproces van dit type ventilator is niet zo eenvoudig door het profiel dat de schoepen moeten krijgen. Zowel het bovenste deel als het onderste deel van de schoepen staan voorovergebogen. Hierdoor ondervindt de schoepenkrans een hogere weerstand bij het ronddraaien waardoor de schoepenkrans aan een lager toerental werkt, maar toch een tamelijk groot debiet heeft waaruit een tamelijk hoog rendement volgt. Voorovergebogen schoepen worden vooral gebruikt bij verwarming- en ventilatiesystemen.

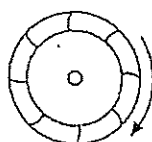


fig. 5

c. Radiaal ventilator met achterwaarts gebogen schoepen:

De schoepen van dit type zijn eveneens geprofileerd, maar nu wijzen het bovenste en het onderste deel van de schoepen niet voorwaarts maar achterwaarts. Er zijn ook opmerkelijk minder schoepen aanwezig. Hierdoor zal er bij een even groot toerental een lager debiet zijn, waardoor het rendement ook lager zal liggen. Het toepassingsgebied is grotendeels hetzelfde als dat van de ventilator met voorwaarts gebogen schoepen.

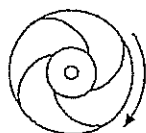


fig. 6

1.4.2 Axiaalventilator

Wanneer de lucht evenwijdig met de hoofdas binnenstroomt maar ook evenwijdig met die as buitenstroomt, spreken we van een axiaal ventilator. Bij deze ventilatoren is de drukverhoging niet zo belangrijk, het debiet is wel zeer belangrijk.

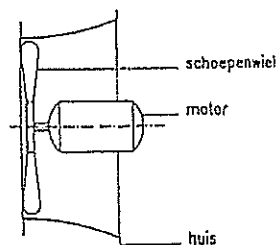


fig. 7

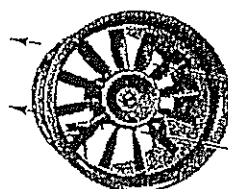


fig. 8

1.4.2.1 Werkingsprincipe

Als we de constructie vergelijken met die van een radiaalventilator dan zien we dat deze hier veel eenvoudiger is. De schoepen draaien in een iets grotere buis dan hun omtrekscekel. Die buis is eventueel nog uitgerust met een inlaatconus. De schoepen worden onder een hoek geplaatst ten opzichte van het vlak loodrecht op instroomrichting. Wanneer de ventilator begint rond te draaien, wordt de lucht als het ware weggeschept van net voor de ventilator en wordt na de ventilator weggeslingerd. Door het wegscheppen van de lucht ontstaat er een onderdruk voor de ventilator, waardoor een zuigkracht aan de inlaat ontstaat.

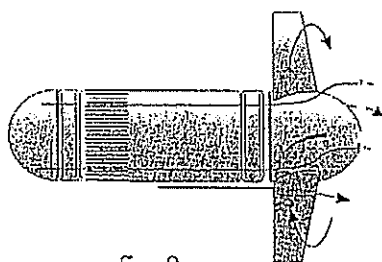


fig. 9

1.4.2.2 Soorten axiaalventilatoren

Ook axiaalventilatoren kunnen nog verder onderverdeeld worden. Er zijn twee bases om de types te onderscheiden: - De constructie van de ventilator
- Indeling volgens druk

In boeken wordt de onderverdeling meestal gemaakt aan de hand van een de constructie. Hieruit vloeien volgende types:

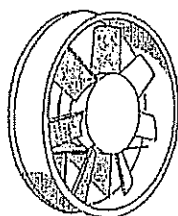


fig. 10

a. ringventilator:

Dit is een heel eenvoudige en goedkope constructie. De schoepen bestaan uit eenvoudig plaatmateriaal dat niet geprofileerd is. Dit type axiaalventilator heeft een tamelijk hoog debiet, ook al wordt anders verwacht als je de constructie bekijkt. Ringventilatoren worden vooral gebruikt voor luchtcirculatie binnen een bepaalde ruimte. Door de eenvoudige constructie kan hij dan ook gemakkelijk in muren geplaatst worden, zonder dat hiervoor extra grote installaties nodig zijn.

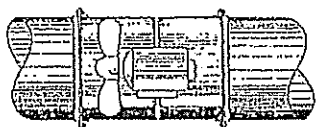


fig. 11

b. buisventilator:

Deze soort wordt gekenmerkt door een ventilatornaaf die iets kleiner is dan de helft van de buitendiameter. (Bij ringventilatoren is dit ongeveer de helft) De schoepen zelf hebben een lichte vorm meegekregen, waardoor een betere werking is verzekerd met als gevolg een hoger debiet en een hoger rendement. Deze axiaalventilator wordt veel gebruikt voor verwarmingsinstallaties en ventilatiesystemen. Het wordt echter ook gebruikt voor industriële toepassingen zoals droogovens, spuitcabines en rookafzuigsystemen.

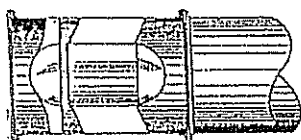


fig. 12

c. Buisventilator met schoepenkrans:

Deze axiaalventilator verschilt van de vorige soorten door een ventilatornaaf die groter is dan de helft van de buitendiameter. Verder is de constructie van de schoepen gelijk aan die van een gewone buisventilator. Het verschil ligt in de geleidingsschoepen die na de rotor zijn aangebracht op de wand van de behuizing. Deze schoepen hebben een bijzondere werking. Ze dienen om de bewegingsenergie van de uittredende lucht om te zetten in een drukstijging. Dit heeft als gevolg dat er een grotere drukcapaciteit bekomen wordt, maar ook een kleiner debiet. Het bijzondere is dat dit het omgekeerde is van een gewone axiaalventilator. Het grote voordeel van dit type is dus dat het toepassingsgebied hetzelfde is als dat van de radiaalventilatoren, maar dat de prijs opmerkelijk lager ligt en dat de constructie eenvoudiger en ook minder groot is.

2 Wet van Bernouilli

Onze proefstand is een toepassing van de wet van Bernouilli. Deze wet mag toegepast worden bij een stationaire stroming in gladde buizen. Omdat de afstand van het ventilatorhuis klein is, mogen de wrijvingsverliezen die optreden in dit stuk verwaarloosd worden. We kunnen dus spreken van een gladde buis. De ventilator zorgt verder voor de stationaire stroming. De twee voorwaarden zijn dus voldaan om de wet van Bernouilli te mogen toepassen.

2.1 Stationaire stroming

Een stationaire stroming is een stroming waarbij:

- De massa van het beschouwde fluïdum die per tijdseenheid door een bepaalde doorsnede vloeit, constant is.
- De toestand van het beschouwde fluïdum (de druk, het volume, de temperatuur, de zin en de richting van de snelheid,...) in een bepaald punt constant is. Aangezien elk massadeeltje telkens een andere doorsnede passeert, kan er tijdens de stroming wel een toestandsverandering optreden.
- De overgedragen warmte en arbeid per tijdseenheid constant zijn.

2.2 Opstellen van de energievergelijking

Gegeven: Een machine met toe- en afvoerleidingen zoals aangegeven op de figuur waarin een stationaire stroming optreedt.

Om de energiebalans van binnen het systeem op te stellen, nemen we de toestanden van het fluïdum aan de toe- en afvoerdoorsnede. De rest laten we buiten beschouwing.

Figuur:

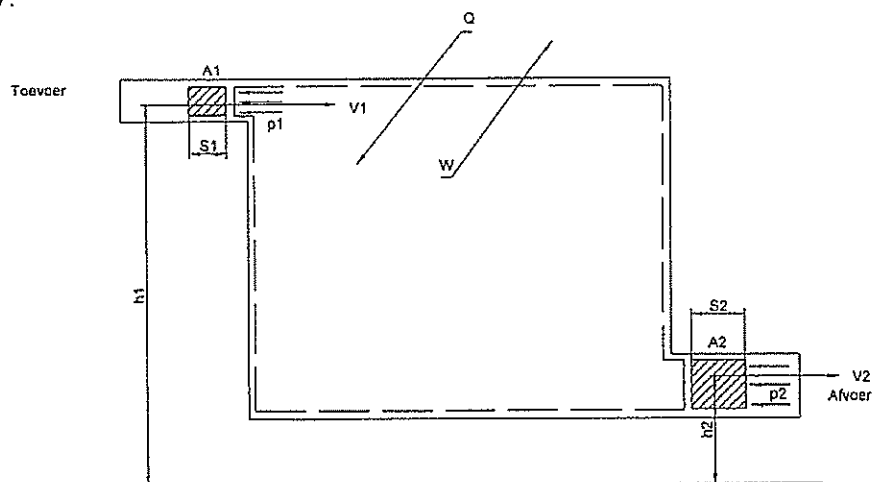


fig. 13

Uit de wet van behoud van energie volgt dat de hoeveelheid energie die binnenstroomt gelijk is aan de hoeveelheid energie die buitenstroomt.

$$\text{Energie-toevoer} = \text{Energie-afvoer}$$

De energietoe- en afvoer kunnen opgesplitst worden in:

- De inwendige energie U
Met: $U = mc_v T$ met $c_v =$ de specifieke warmte bij een constant volume
- De energie nodig om de massa m binnen of buiten te duwen in het systeem. De tegenwerkende kracht op het element is gelijk aan: $p \cdot A$
De verrichte arbeid is gelijk aan: $p \cdot A \cdot s$
met $A \cdot s = V$
 \Rightarrow De verrichte arbeid is gelijk aan: $p \cdot V$
- De kinetische energie (de energie omwille van de snelheid) E_k .
Met: $E_k = \frac{mv^2}{2}$
- De potentiële energie (de energie omwille van de hoogte) E_p .
Met: $E_p = mgh$

Bij het verdere uitwerken krijgen de grootheden die gelden bij de toevoer een index 1, grootheden die gelden bij de afvoer krijgen een index 2. Verder wordt aangenomen dat een hoeveelheid arbeid (W) aan de omgeving wordt geleverd en dat een hoeveelheid warmte (Q) aan het systeem wordt toegediend.

Daaruit volgt dat:

$$E_{in} = Q + U_1 + p_1 V_1 + E_{k1} + E_{p1}$$

$$E_{uit} = W + U_2 + p_2 V_2 + E_{k2} + E_{p2}$$

$$\Downarrow \text{met : } E_{in} = E_{uit}$$

$$Q + U_1 + p_1 V_1 + E_{k1} + E_{p1} = W + U_2 + p_2 V_2 + E_{k2} + E_{p2}$$

$$\Downarrow$$

$$Q = (U_2 - U_1) + (p_2 V_2 - p_1 V_1) + (E_{k2} - E_{k1}) + (E_{p2} - E_{p1}) + W$$

$$\Downarrow$$

$$Q = \Delta U + \Delta p V + \Delta E_k + \Delta E_p + W$$

$$\Downarrow \text{Met : } U + pV = \text{De enthalpie (H)}$$

$$Q = \Delta H + \Delta E_k + \Delta E_p + W$$

Deze energievergelijking is geldig bij een massa van m kg. Om de energievergelijking te kennen die geldig is bij een massa van 1 kg, moet alles gedeeld worden door m kg. Vooraleer we die stap ondergaan, worden de gekende formules van de verschillende termen ingevuld.

$$Q = \Delta U + \Delta p V + \Delta E_k + \Delta E_p + W$$

$$\Downarrow \text{Formules invullen}$$

$$Q = mc_v (T_2 - T_1) + (p_2 V_2 + p_1 V_1) + m \frac{(v_2^2 - v_1^2)}{2} + mg (h_2 - h_1) + W$$

$$\Downarrow \text{Delen door } m \text{ kg}$$

$$Q = c_v(T_2 - T_1) + \frac{(p_2 V_2 - p_1 V_1)}{m} + \frac{(v_2^2 - v_1^2)}{2} + g(h_2 - h_1) + \frac{W}{m}$$

$$\Downarrow \text{Met: } \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho} = v \text{ (soortelijk volume [m}^3/\text{kg])}$$

$$-\frac{W}{m} = w \text{ (arbeid per kg)}$$

$$Q = c_v(T_2 - T_1) + (v_2 p_2 - v_1 p_1) + \frac{(v_2^2 - v_1^2)}{2} + g(h_2 - h_1) + w$$

\Downarrow

$$Q = c_v \Delta T + \Delta v p + \frac{\Delta v^2}{2} + g \Delta h + w$$

\Downarrow Met: $C_v T + v p = h$ (entalpie voor 1 kg.). De hoogte wordt nu (om verwarring te vermijden) met de letter "z" weergegeven.

$$Q = \Delta h + \frac{\Delta v^2}{2} + g \Delta z + w$$

2.3 Regel van Castelli

De regel van Castelli of de continuïteitsregel zegt: "voor een stationaire stroming geldt dat de massa die per tijdseenheid stroomt, constant is".

$$\Rightarrow \dot{m}_1 = \dot{m}_2$$

$$\Downarrow \text{Met: } \dot{m}_1 = \dot{V}_1 \rho$$

$$\dot{V}_1 \rho_1 = \dot{V}_2 \rho_2$$

$$\Downarrow \text{met: } \rho = \frac{1}{v}$$

$$\frac{\dot{V}_1}{v_1} = \frac{\dot{V}_2}{v_2}$$

$$\Downarrow \text{Met: } \dot{V} = A v$$

$$\frac{A_1 v_1}{v_1} = \frac{A_2 v_2}{v_2}$$

2.4 Wet van Bernoulli

Dit is de energievergelijking toegepast op een stationaire, wrijvingsloze stroming in een buis. Dit wil zeggen dat er:

- geen warmte wordt toe- of afgevoerd. ($Q=0$)
- geen arbeid wordt uitgewisseld ($W=0$)
- geen inwendige energie aanwezig is. ($=0$)

Stel dat we een buis nemen waarvan de diameter niet overal gelijk is. Hierdoor laten we een willekeurig fluïdum, met een massadichtheid ρ vloeien. Om de toestandsveranderingen te kunnen bestuderen nemen we twee doorsneden die niet aan elkaar gelijk zijn.

-doorsnede A_1 met een druk p_1 , een snelheid v_1 en een hoogte h_1 en
-doorsnede A_2 met een druk p_2 , een snelheid v_2 en een hoogte h_2 . (zie figuur 14)

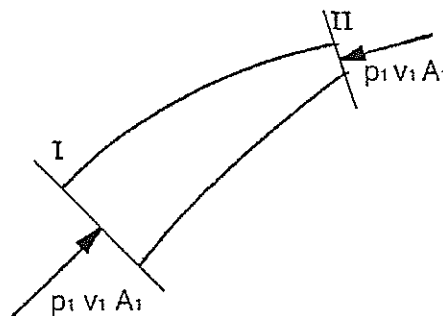


fig. 14

Uit de energievergelijking voor open systemen halen we dat :

$$Q = \Delta H + \Delta E_k + \Delta E_p + W$$

⇓ met : $U = \text{een constante}$

$$Q \text{ en } W = 0$$

$$Q = \Delta pV + \Delta E_k + \Delta E_p$$

⇓

$$p_1 V_1 + \frac{mv_1^2}{2} + mgh_1 = p_2 V_2 + \frac{mv_2^2}{2} + mgh_2$$

⇓

$$p_2 V + \frac{mv^2}{2} + mgh = \text{een constante} \quad (= \text{wet van Bernoulli})$$

2.4.1 De wet van Bernoulli als energievergelijking

Uit de algemene wet van Bernoulli volgt dat :

$$p_1 V_1 + \frac{mv_1^2}{2} + mgh_1 = p_2 V_2 + \frac{mv_2^2}{2} + mgh_2$$

Als we nu alles delen door de massa m, dan bekomen we - als we in beschouwing nemen

dat-: $\frac{V}{m} = v = \text{het soortelijk volume} = \frac{1}{\rho}$:

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} + gh_1 = \frac{p_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} + gh_2$$

$\Rightarrow \frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} + gh = \text{een constante met : } \frac{p}{\rho} = \text{de drukenergie (energie omwille van de druk)}$

$\frac{v^2}{2} = \text{de kinetische energie (energie omwille van de snelheid)}$

$gh = \text{potentiële energie (energie omwille van de hoogte)}$

2.4.2 De wet van Bernoulli als drukvergelijking

Uit de wet van Bernoulli als energievergelijking volgt dat :

$$\frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} + gh = \text{een constante}$$

Als we nu alle termen vermenigvuldigen met de massadichtheid ρ zodat in de eerste term enkel nog de druk aanwezig is, dan krijgen we het volgende :

$$p + \frac{v^2 \rho}{2} + gh\rho = \text{een constante, dit is duidelijk te zien in figuur 15.}$$

Met: - $p = \text{de statische druk (de uitwendig aangebrachte druk)}$

- $\frac{v^2 \rho}{2} = \text{de dynamische druk (druk door snelheid)}$

- $gh\rho = \text{de gravitatie druk (de druk door de hoogte)}$

2.4.3 De grafische voorstelling van de wet van Bernoulli

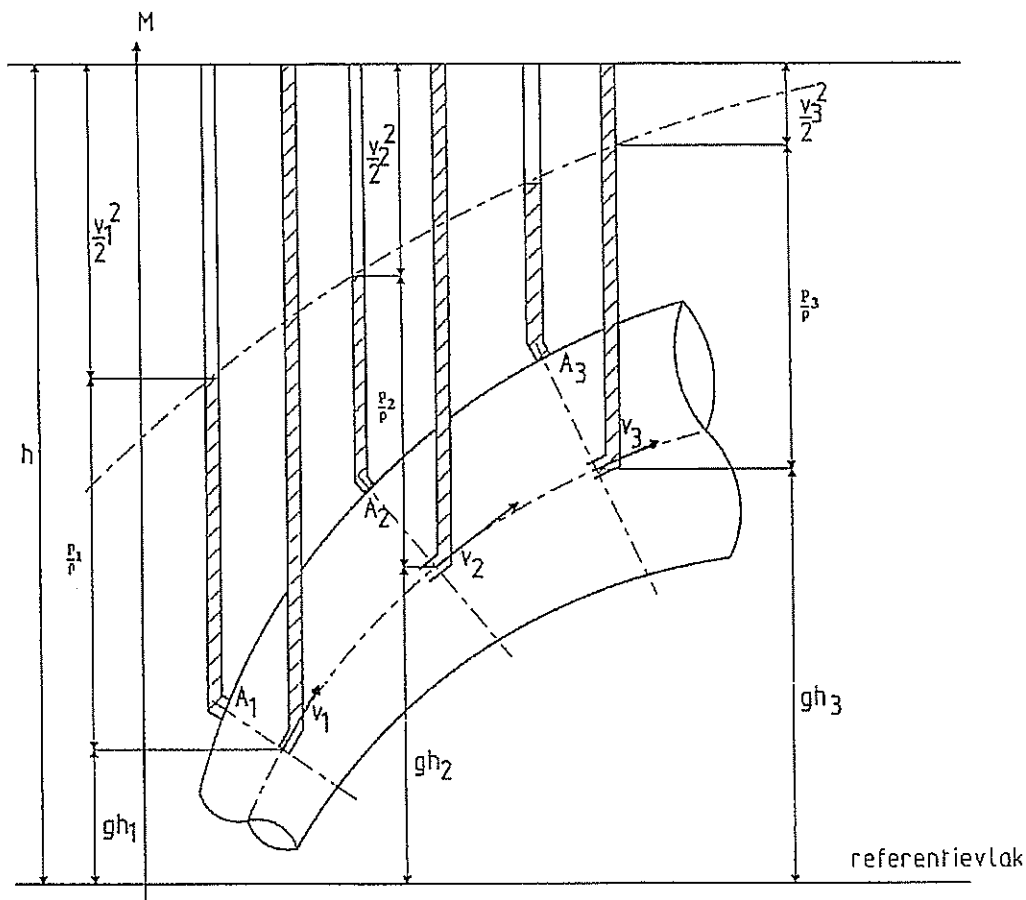


fig. 15

De snelheid in de buis wordt gemeten door de meetbuizen die op de aslijn van de buis staan. Het debiet in de buis is overal hetzelfde, maar omdat de oppervlakte toeneemt van A_1 naar A_3 , zal de snelheid afnemen van v_1 naar v_3 , naarmate de doorsnede toeneemt. Dit kan verklaart worden met de wet van Castelli die hierboven beschreven staat.

De potentiële energie kan je niet aflezen in de meetbuisjes, maar we weten dat deze vergroot naarmate de hoogte stijgt.

De hydrostatische druk is afhankelijk van de druk p , omdat we weten dat de waarde van de soortelijke massa ρ constant blijft. Ook de waarde van de druk p blijft constant, we kunnen dus zeggen dat de hydrostatische druk constant blijft.

3 De ventilatorkarakteristiek

Een juiste ventilator kan pas gekozen worden als zijn ventilatorkarakteristiek gekend is. Dit is het verband tussen de ventilatordruk en het debiet. Om de karakteristiek te bepalen hebben wij metingen uitgevoerd op een proefstand. Die is overeenkomstig met de Duitse Norm DIN 24163, (zie hoofdstuk 4: De Duitse Norm 24163).

3.1 De ventilatordruk

De ventilatordruk is het drukverschil tussen de inlaat- en de uitlaatzijde van een ventilator. Dit komt neer op de drukstijging die een ventilator levert. De totale ventilatordruk kan je opsplitsen in twee delen, de statische drukstijging en de dynamische drukstijging.

$$\Delta p_t = \Delta p_s + \Delta p_d$$

3.1.1 De statische drukstijging

Formule: $\Delta p_s = p_2 - p_1$ (1)

Op de waterkolom aan de inlaat van de ventilator wordt de statische onderdruk $\Delta p_{st,1}$ afgelezen.

$$\Delta p_{st,1} = p_a - p_1 \quad (2) \quad \text{, met } p_a \text{ die de atmosferische druk is}$$

Op de waterkolom aan de uitlaat van de ventilator wordt de statische overdruk $\Delta p_{st,2}$ afgelezen.

$$\Delta p_{st,2} = p_2 - p_a \quad (3) \quad \text{, met } p_a \text{ is die de atmosferische druk is}$$

(2) en (3) in (1)

$$\Delta p_s = (p_2 - p_a) - (p_a - p_1)$$

$$\boxed{\Delta p_s = p_2 - p_1}$$

3.1.2 De dynamische drukstijging

Formule: $\Delta p_d = p_{d,2} - p_{d,1}$

De dynamische druk is algemeen gelijk aan :

$$p_d = \frac{\rho \times v^2}{2} \quad (1)$$

ρ = massadichtheid van het fluïdum ter hoogte van de drukafname (kg/m^3)

v = snelheid van het fluïdum in de testbuis (m^3/s)

De snelheid van het fluïdum in de testbuis kunnen we echter niet meten, maar we kunnen wel het debiet van het fluïdum bepalen.

$$\begin{aligned}\dot{V} &= v \times A \\ \Downarrow \\ v &= \frac{\dot{V}}{A} \quad (2)\end{aligned}$$

(2) in (1)

$$\begin{aligned}p_d &= \frac{\rho}{2} \times \left(\frac{\dot{V}}{A} \right)^2 \\ \Downarrow \\ \Delta p_d &= \frac{\rho}{2} \times \left(\frac{\dot{V}}{A_2} \right)^2 - \frac{\rho}{2} \times \left(\frac{\dot{V}}{A_1} \right)^2\end{aligned}$$

3.1.3 Besluit

We kunnen besluiten:

$$\boxed{\Delta p_i = p_2 + p_1 + \Delta p_d}$$

$$\text{met } \Delta p_d = p_{d,2} - p_{d,1} = \frac{\rho}{2} \times \left(\frac{\dot{V}}{A_2} \right)^2 - \frac{\rho}{2} \times \left(\frac{\dot{V}}{A_1} \right)^2$$

3.2 Het debiet

De definitie van debiet is de hoeveelheid fluïdum die per tijdseenheid voorbij een zekere doorsnede komt.

In de testbuis plaatsen we een blende. De aanwezigheid van de blende veroorzaakt een drukverschil.

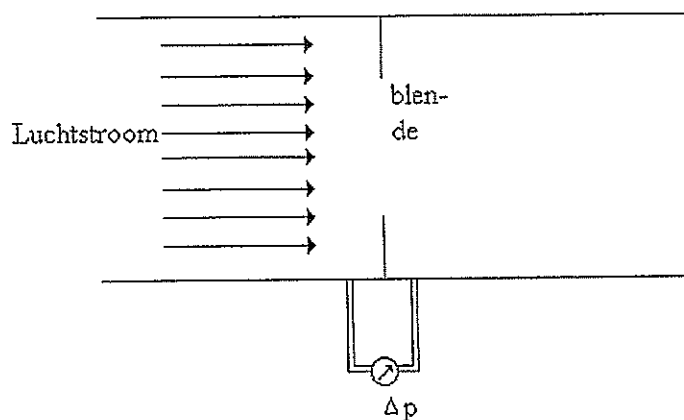


fig. 16

Er is een verband tussen het debiet en het opgemeten drukverschil $\dot{V} = f(\Delta p)$.

$$\dot{V} = \alpha \times \varepsilon \times A \times \sqrt{\frac{2 \times \Delta p}{\rho}}$$

Deze uitdrukking vraagt natuurlijk wat meer toelichting.

\dot{V} = het debiet van het fluïdum (m^3/s)

α = de doorstromingscoëfficiënt

ε = de expansiecoëfficiënt

A = de doorsnede van de blende (m^2)

ρ = soortelijke massa van de lucht (kg/m^3)

Δp = opgemeten drukverschil (Pa)

3.2.1 De doorstromingscoëfficiënt α

De doorstromingscoëfficiënt α is afhankelijk van het getal van Reynold Re_D en de openingsverhouding van de flens m . Voor een bepaalde m -waarde is α constant vanaf een zekere minimum waarde van het getal van Reynold Re_D . Het verloop van α is voorgesteld in figuur 17. De grafiek is opgesteld met de waarden uit de tabel die we terugvinden na figuur 17.

Figuur : α in functie van Re_D

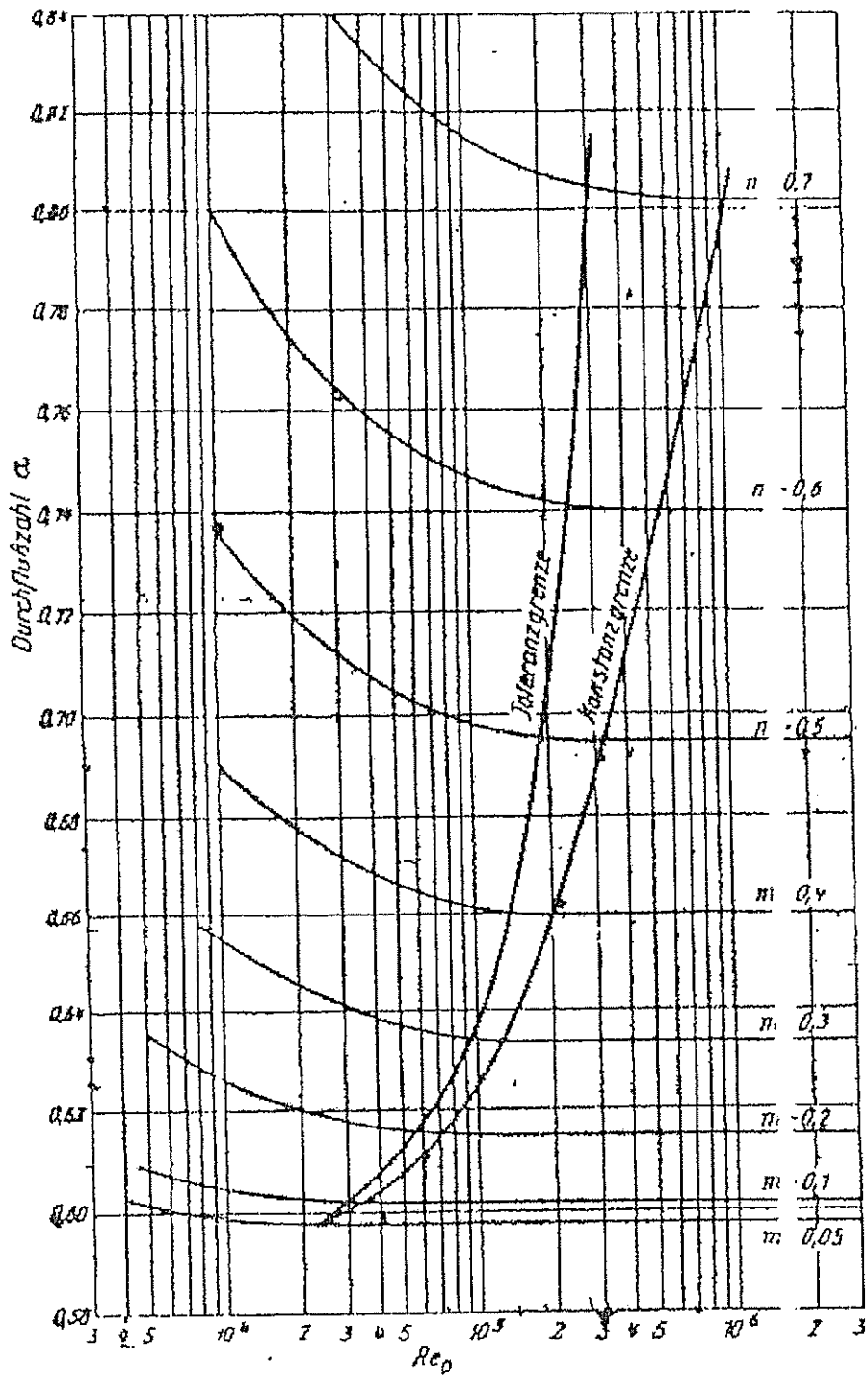


fig. 17

Tabel- α in functie van m en Re_D voor diafragma's in gladde buizen

Met m bedoelen we de verhouding van de diameter van de blende en de diameter van de testbuis.

Re		5×10^3	1×10^4	2×10^4	3×10^4	5×10^4	1×10^5	1×10^6	1×10^7
m	m^2								
0,0500	0,0025	0,6024	0,6005	0,5993	0,5989	0,5985	0,5981	0,5978	0,5977
0,0548	0,003	0,6032	0,6011	0,5998	0,5993	0,5988	0,5985	0,5981	0,5980
0,0632	0,004	0,6045	0,6022	0,6007	0,6001	0,5995	0,5991	0,5986	0,5986
0,0707	0,005	0,6058	0,6031	0,6015	0,6008	0,6002	0,5997	0,5992	0,5991
0,1000	0,01	0,6110	0,6073	0,6050	0,6039	0,6031	0,6025	0,6018	0,6016
0,1414	0,02	0,6194	0,6142	0,6108	0,6094	0,6081	0,6073	0,6062	0,6061
0,1732	0,03	0,6268	0,6203	0,6161	0,1430	0,6129	0,6117	0,6105	0,6103
0,2000	0,04	0,6335	0,6260	0,6212	0,6900	0,6173	0,6160	0,6146	0,6144
0,2236	0,05	0,6399	0,6315	0,6260	0,6236	0,6217	0,6202	0,6186	0,6184
0,2449	0,06		0,6370	0,6308	0,6281	0,6260	0,6245	0,6226	0,6223
0,2646	0,07		0,6422	0,6355	0,6327	0,6330	0,6284	0,6265	0,6262
0,2828	0,08		0,6474	0,6403	0,6371	0,6343	0,6324	0,6303	0,6300
0,3000	0,09		0,6526	0,6450	0,6415	0,6385	0,6362	0,6341	0,6338
0,3162	0,10		0,6577	0,6497	0,6459	0,6425	0,6401	0,6378	0,6375
0,3317	0,11		0,6630	0,6542	0,6500	0,6465	0,6439	0,6415	0,6412
0,3464	0,12		0,6682	0,6588	0,6544	0,6507	0,6478	0,6452	0,6449
0,3606	0,13		0,6734	0,6633	0,6587	0,6547	0,6516	0,6489	0,6486
0,3742	0,14		0,6786	0,6679	0,6629	0,6587	0,6555	0,6526	0,6522
0,3873	0,15		0,6839	0,6724	0,6672	0,6627	0,6594	0,6563	0,6559
0,4000	0,16		0,6890	0,6769	0,6715	0,6667	0,6633	0,6600	0,6596
0,4123	0,17		0,6943	0,6815	0,6759	0,6708	0,6671	0,6638	0,6633
0,4243	0,18		0,6995	0,6861	0,6802	0,6749	0,6711	0,6675	0,6670
0,4359	0,19		0,7047	0,6908	0,6846	0,6791	0,6751	0,6713	0,6708
0,4472	0,20		0,7099	0,6954	0,6890	0,6832	0,6791	0,6751	0,6746
0,4583	0,21		0,7153	0,7000	0,6934	0,6874	0,6830	0,6789	0,6784
0,4690	0,22		0,7206	0,7047	0,6979	0,6917	0,6871	0,6828	0,6823
0,4796	0,23		0,7259	0,7094	0,7024	0,6960	0,6911	0,6867	0,6861
0,4899	0,24		0,7312	0,7142	0,7069	0,7003	0,6952	0,6906	0,6899
0,5000	0,25		0,7366	0,7189	0,7114	0,7046	0,6994	0,6945	0,6938
0,5099	0,26		0,7442	0,7237	0,7160	0,7090	0,7035	0,6984	0,6977
0,5196	0,27		0,7472	0,7286	0,7207	0,7136	0,7078	0,7025	0,7017
0,5292	0,28		0,7526	0,7336	0,7255	0,7180	0,7121	0,7065	0,7057
0,5385	0,29		0,7580	0,7385	0,7301	0,7225	0,7163	0,7105	0,7096
0,5477	0,30		0,7635	0,7436	0,7349	0,7269	0,7206	0,7145	0,7136
0,5568	0,31		0,7690	0,7487	0,7398	0,7317	0,7250	0,7181	0,7177
0,5657	0,32		0,7745	0,7538	0,7446	0,7363	0,7294	0,7226	0,7218
0,5745	0,33		0,7802	0,7591	0,7495	0,7410	0,7339	0,7269	0,7259
0,5831	0,34		0,7859	0,7646	0,7547	0,7459	0,7385	0,7312	0,7301
0,5916	0,35		0,7917	0,7646	0,7597	0,7508	0,7432	0,7354	0,7343
0,6000	0,36		0,7976	0,7754	0,7648	0,7554	0,7476	0,7396	0,7384
0,6083	0,37			0,7809	0,7699	0,7605	0,7523	0,7439	0,7426
0,6164	0,38			0,7866	0,7752	0,7656	0,7571	0,7483	0,7470
0,6245	0,39			0,7924	0,7805	0,7706	0,7619	0,7527	0,7513
0,6325	0,40			0,7986	0,7864	0,7763	0,7673	0,7576	0,7561

3.2.2 Verklaring laminaire en turbulente stroming - Getal van Reynold

3.2.2.1 Laminaire stroming

Bij laminaire stroming bewegen alle luchtdeeltjes zich in dezelfde richting. De deeltjes direct tegen de wand stromen hierbij niet. De deeltjes meer naar het midden gelegen stromen steeds sneller. De weerstand tegen stroming is het gevolg van het langs elkaar glijden van de vloeistofdeeltjes.

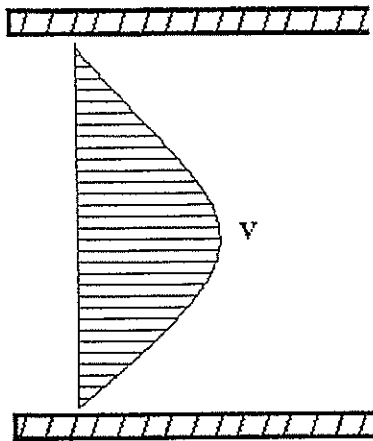


fig. 18

3.2.2.2 Turbulente stroming

Bij turbulente stroming bewegen de deeltjes zich door elkaar. Door deze wervelingen worden tevens de deeltjes direct tegen de wand meegenomen. Bij turbulente stroming wordt de weerstand tegen stroming dus nog verhoogd door de wrijving van de vloeistofdeeltjes langs de wand. Over het algemeen zal men een vloeistof door een leiding, gezien de weerstand, bij voorkeur laminair laten stromen.

Op de figuur hieronder zien we de schematische voorstelling van de overgang van laminaire naar turbulente stroming bij toenemende stroomsnelheid.

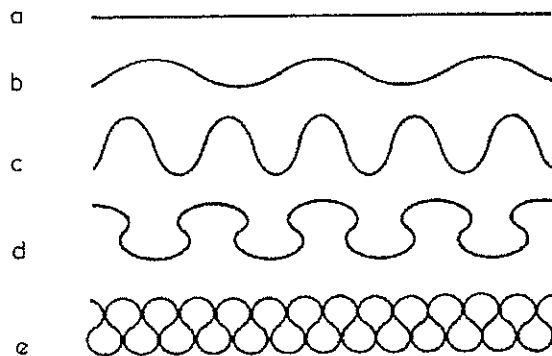


fig. 19

3.2.2.3 De viscositeit van gassen

De viscositeit van gassen stijgt als de temperatuur stijgt. De viscositeit kan berekend worden als functie van de temperatuur met de formule van Sutherland.

$$\mu = \mu_0 \times \sqrt{\frac{T}{T_0}} \times \frac{1 + \frac{C}{T_0}}{1 + \frac{C}{T}} \quad [\text{kg/sm}]$$

- μ_0 = de dynamische viscositeit van het beschouwde gas bij T_0 (zie verder)
 T_0 = 273,16K
 T = de temperatuur
 C = de constante van Sutherland, is afhankelijk van de aard van het gas (zie tabel)

TABEL CONSTANTE VAN SUTHERLAND

In onderstaande tabel vinden we de waarde van de constante C voor enkele belangrijke gassen binnen een bepaald temperatuursbereik.

GAS	C	TEMPERATUURGEBIED [C°]
Ammoniak	377	15 - 184
Argon	169,9	11-80
	147	20 - 100
Chloor	325	13 - 99
Chloorwaterstof	357	13 - 100
Helium	78,2	-61 - 184
	80,3	15 - 185
Ethyleen	225,9	-21 - 302
Koolstofoxyde	118	16 - 100
Krypton	188	0 - 300
LUCHT	114	17 - 100
Methaan	198	-15 - 302
Methylchloride	454	20 - 100
Neon	61	15 - 100
Stikstof	118	-76 - 260
	102,7	20 - 200
Stikstofoxide	128	28 - 278
Waterstof	83	-60 - 185
	71,7	-21 - 302
Xenon	252	15 - 100
Zuurstof	138	17 - 186
Zwavel dioxide	416	18 - 100
Zwavelwaterstof	331	17 - 100

BEPALING VAN DE DYNAMISCHE VISCOSITEIT

De dynamische viscositeit wordt bepaald met behulp van een figuur. Een voorbeeld van deze methode is terug te vinden in figuur 20. Een algemene figuur is terug te vinden in figuur 21. Op de figuur duiden we de temperatuur aan (1^{ste} punt). Vervolgens nemen we het punt dat bepaald wordt door van het specifieke gas de coördinaten in te vullen (2^{de} punt). Deze coördinaten vinden we terug in onderstaande tabel. We verbinden beide punten door een rechte. Het snijpunt van de rechte 1-2 en de as van de viscositeit (3^{de} punt) is het punt die de waarde van dynamische viscositeit van dat gas aantoont bij een bepaalde temperatuur T_0 .

De X- en Y-waarden voor de belangrijke gassen

GAS	X	Y	GAS	X	Y
Aceton	8,9	13,0	Freon-12	11,1	16,0
Acetyleen	9,8	14,9	Freon-21	11,3	14,0
Ammoniak	8,4	16,0	Helium	10,9	20,5
Argon	10,5	22,4	Hexaan	8,6	11,8
Azijnzuur	7,7	14,3	Jodium	9,0	18,4
Broom	8,9	19,2	Jodiumwaterstof	9,0	21,3
Broomwaterstof	8,8	20,9	Koolstofdioxide	8,0	16,0
Butaan	9,2	13,7	Koolstofmonoxide	9,5	18,7
Butyleen	8,9	13,0	Kwikzilver	5,3	22,9
Chloor	9,0	18,4	LUCHT	11,0	20,0
Chloorwaterstof	8,8	18,7	Methaan	9,9	15,5
Chloroform	8,9	15,7	Methylalcohol	8,5	15,6
Cyaanwaterstof	9,8	14,9	Pentaaan	7,0	12,8
Cyclohexaan	9,2	12,0	Propaan	9,7	12,9
Ethaan	9,1	14,5	Propyleen	9,0	13,8
Ethylacetaat	8,5	13,2	Stikstof	10,6	20,0
Ethylalcohol	9,2	14,2	Stikstofoxyde	10,9	20,5
Ethylchloride	8,5	15,6	2,3,3-trimethylbutaan	9,5	10,5
Ethyleen	9,5	15,1	waterdamp	8,0	16,0
Ethylether	8,9	13,0	xenon	9,3	23,0
Fluor	7,3	23,8	zuurstof	11,0	21,3
Freon-11	10,6	15,1	zwavelwaterstof	8,6	18,0

Voorbeeld:

De temperatuur is 50 °C. De X-waarde is 8, de Y-waarde is 14. Dan vinden we als constante van Sutherland 0,0085.

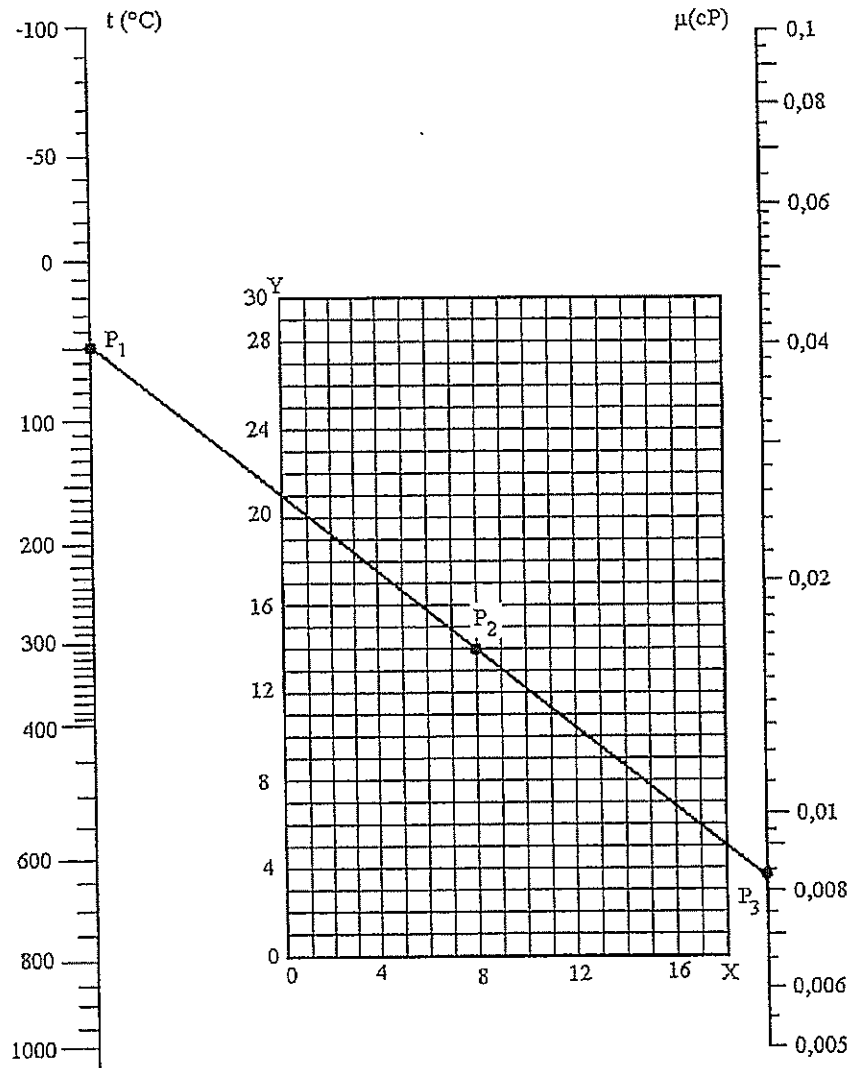


fig. 20

Algemene figuur:

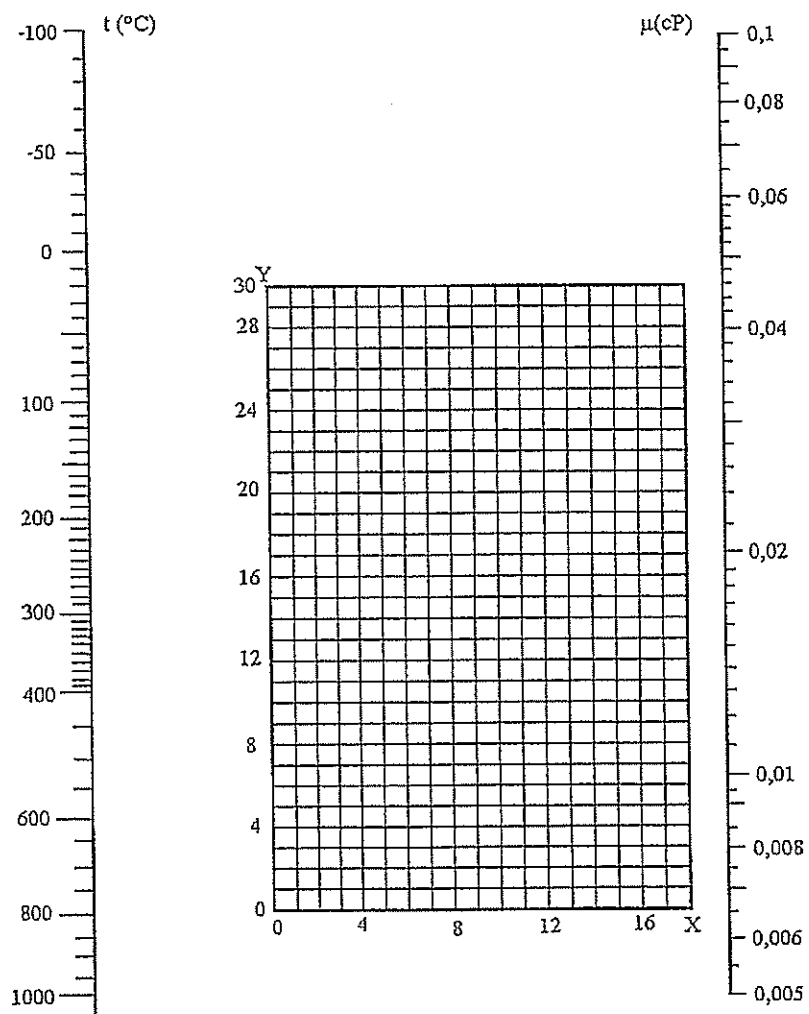


fig. 21

3.2.2.4 Het getal van Reynold Re_D

Om te bepalen of een stroming turbulent of laminair is, werd het getal van Reynold Re_D ingevoerd. Osborn Reynold onderzocht welke factoren er invloed hadden op de stroming. Hij vond vier factoren: de snelheid waarmee het fluïdum stroomt, de diameter van de buis, de massadichtheid en de viscositeit van het fluïdum.

$$Re_D = \frac{\rho \times D \times \bar{v}}{\mu}$$

- Re_D = het kengetal van Reynolds betrokken op de diameter van de buis
- ρ = de soortelijke massa van het fluïdum
- D = de diameter van de buis
- \bar{v} = de gemiddelde snelheid van het fluïdum
- μ = de viscositeit van het fluïdum

De verhouding van de viscositeit en de soortelijke massa van het fluïdum kunnen we vervangen door de kinematische viscositeit ν .

Daaruit volgt:
$$Re_D = \frac{D \times \bar{v}}{\nu}$$

- Re_D = het kengetal van Reynolds betrokken op de diameter van de buis
- D = de diameter van de buis
- \bar{v} = de gemiddelde snelheid van het fluïdum
- ν = de kinematische viscositeit van het fluïdum

We spreken van een laminaire stroming als de waarde van Re_D kleiner is dan 2300. Is de waarde van Re_D groter dan 2300 spreken we van een turbulente stroming.

3.2.3 De expansiecoëfficiënt ϵ

De factoren waarvan de expansiecoëfficiënt afhankelijk is de openingsverhouding m , de adiabatische component k , de samendrukbaarheid van het fluïdum

en de verhouding van $\frac{P_{2,tot}}{P_{1,tot}}$.

De waarden van ϵ zijn terug te vinden in tabel 6 van de norm DIN 1952.

3.3 De praktische ventilatorkarakteristiek

3.3.1 Theoretische curve

De ventilatorcurve begint bij de opmaak van een theoretische curve. Die kan opgesteld worden volgens de formule van Euler. De vloeistof komt in de waaier met absolute snelheid v_1 (op de figuur aangeduid als c_1). De omtreksnelheid is daar u_1 , de relatieve snelheid w_1 . Deze relatieve snelheid w_1 vormt de raaklijn aan de schoep, zodat hieruit de hoek β_1 volgt. De vloeistof stroomt door de waaier en komt aan de uitgang met de relatieve snelheid w_2 , die ook hier de raaklijn moet zijn aan de schoepvorm. De hoek β_2 volgt hieruit. De omtreksnelheid bedraagt aan de uitgang u_2 , zodat v_2 (op de figuur c_2) de absolute uitgangssnelheid is. Verder kan de wet van Bernoulli toegepast worden (zie hoofdstuk 2).

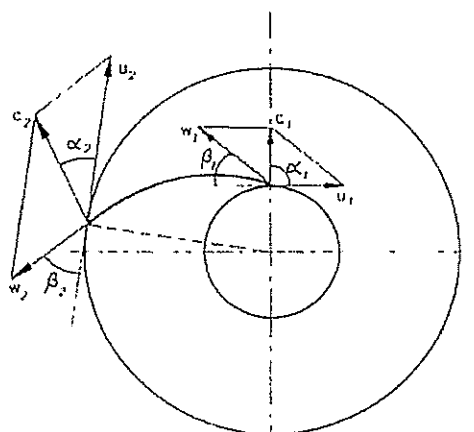


fig. 22

$$\text{energie aan de ingang : } \frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} + g \cdot h_1$$

$$\text{energie aan de uitgang : } \frac{p_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} + g \cdot h_2$$

Volgens de wet van behoud van energie geldt dat de energie aan de ingang gelijk is aan de energie aan de uitgang.

Er geldt echter ook dat $h_1 = h_2$, daaruit volgt dat de termen $g \cdot h$ wegvallen

$$\begin{aligned} \frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} &= \frac{p_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} \\ \Rightarrow \frac{p_2 - p_1}{\rho} &+ \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} \end{aligned}$$

Euler toonde aan dat :

$$\frac{p_2 - p_1}{\rho} = \frac{u_2^2 - u_1^2}{2} - \frac{w_2^2 - w_1^2}{2}$$

Hierdoor wordt de energietoename volgens Euler :

$$\frac{p_E}{\rho} = \frac{u_2^2 - u_1^2}{2} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} - \frac{w_2^2 - w_1^2}{2}$$

Volgens de cosinusregel geldt : (zie figuur 22)

$$w_2^2 = u_2^2 + v_2^2 - 2 \cdot u_2 \cdot v_2 \cdot \cos \alpha_2$$

$$w_1^2 = u_1^2 + v_1^2 - 2 \cdot u_1 \cdot v_1 \cdot \cos \alpha_1$$

We bekomen :

$$\frac{P_E}{\rho} = u_2 \cdot v_2 \cdot \cos \alpha_2 - u_1 \cdot v_1 \cdot \cos \alpha_1$$

Vermits de lucht radiaal intreedt, is de hoek α_1 gelijk aan 90° , waardoor de cosinus gelijk wordt aan 0.

$$P_E = \rho \cdot u_2 \cdot v_2 \cdot \cos \alpha_2$$

of uitgedrukt in mWK (meterwaterkolom), dit is de Eulerse opvoerhoogte :

$$H_E = \frac{u_2 \cdot v_2 \cdot \cos \alpha_2}{g}$$

Uit deze formule volgt de theoretische karakteristiek van Euler (zie figuur). Euler ging echter uit van een oneindig aantal schoepen. Omdat dit aantal in werkelijkheid beperkt is, is de opvoerdruk lager. Deze lagere druk noemen we de theoretische opvoerdruk (zie figuur 23). Daarnaast zijn er nog verliezen door de ventilator zelf.

1. Verliezen veroorzaakt door wrijving tussen de stromende lucht, de waaijer en het ventilatorhuis.
2. Botsingsverliezen die optreden bij de intrede van de schoepen.
3. Lekverliezen die optreden door het terugstromen van lucht van de inlaatzijde naar de uitlaatzijde van de ventilator.

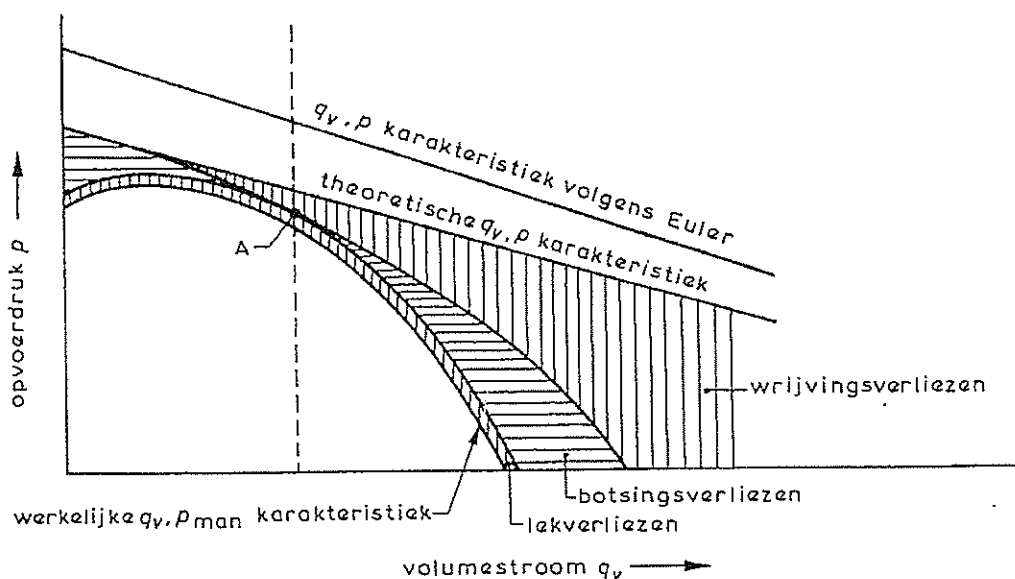


fig. 23

3.4 De leidingkarakteristiek

Een ventilator moet een zeker fluïdum in een systeem verplaatsen met een gewenst debiet. Hiervoor moet een bepaald drukverschil overwonnen worden.

De leidingkarakteristiek duidt de te realiseren drukstijging aan in functie van het debiet. Deze drukstijging is afhankelijk van de weerstand die het fluïdum in het systeem ondervindt. Is de weerstand gering, dan is er maar een kleine drukstijging. Bij een groter wordende weerstand zal er een grotere drukstijging nodig zijn om de weerstand te overwinnen.

Algemeen mogen we zeggen : Δp is evenredig met \dot{V}^2

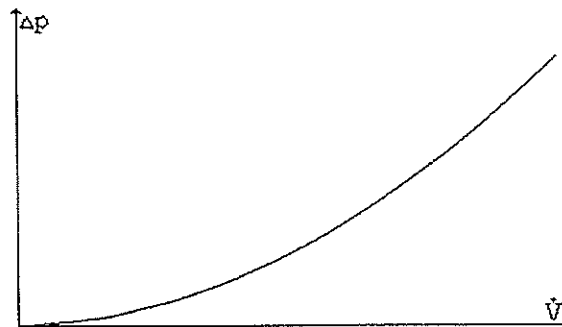


fig. 24

3.5 Het werkpunt

We hebben nu zowel de ventilator- als de leidingkarakteristiek bepaald. We weten wel nog niet onder welke werkvoorwaarden de ventilator moet gebruikt worden.

In figuur 25 zijn zowel de twee vermelde karakteristieken getekend. Het snijpunt tussen de ventilatorkarakteristiek en de leidingkarakteristiek wordt het werkpunt genoemd. In dit punt stemt de opvoerdruk die de ventilator kan leveren overeen met de weerstand die de lucht in de leiding ondervindt bij de aangegeven opbrengst.

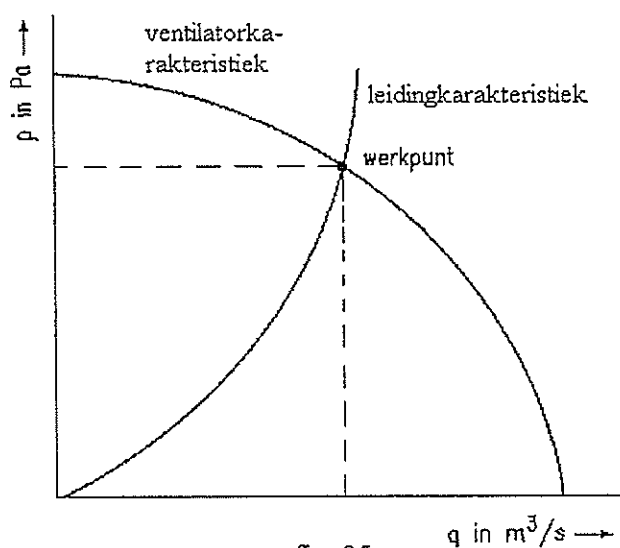


fig. 25

Wanneer de leidingweerstand toeneemt omdat er bijvoorbeeld een afsluitkraan gedeeltelijk wordt dichtgedraaid, zal de leidingkarakteristiek steiler lopen. Het snijpunt met de pompkarakteristiek verplaatst zich zodanig dat de pomp nu de verhoogde druk kan leveren, zij het met een lager debiet.

4 Proefstand volgens DIN 24163

De ventilatorproefstand die wij hebben gebruikt, is opgesteld volgens de Duitse norm DIN 24163. Deze norm is opgesteld voor ventilatoren die gebruikt worden voor het voortstuwen van lucht en andere gassen. Het doel van deze norm is een algemene methode vast te leggen om een ventilator karakteristiek te bepalen.

4.1 Opstellingsvorm van de proefstand

Als de opstelling van de proefstand gekozen wordt, moet er gekeken worden naar de toepassing waarvoor de ventilator in praktijk het meest gebruikt zal worden. In bijlage 1 worden de verschillende opstellingen voorgesteld.

Er zijn vier klassen A, B, C en D. De onderverdeling wordt gemaakt naargelang de plaats van de aangesloten belasting. Dit is aan de inlaat- of aan de uitlaatzijde.

- Klasse A bestaat uit de ventilatortypes die vrij lucht kunnen aanzuigen en vrij lucht kunnen uitblazen. De types van deze klasse bezitten dus geen belasting.
- Ventilatortypes waarvan de aanzuigzijde van de ventilator aangesloten of belast is, maar die de lucht vrij kunnen uitblazen worden onderverdeeld in klasse B
- In klasse C vinden we de ventilatortypes die vrij lucht kunnen aanzuigen maar waarvan de luchtuitlaat aangesloten of belast is.
- Ventilatortypes waarvan de luchtinlaat en de luchtuitlaat aangesloten of belast zijn vinden we terug in klasse D.

De 4 klassen worden opgedeeld in twee "Prüfstandsanordnungen" of bouwvolgorden. Klasse A en klasse B vormen samen bouwvolgorde 1, terwijl klasse C en klasse D samen bouwvolgorde 2 vormen. Dit onderscheid wordt vooral bepaald door het al of niet aanwezig zijn van een belasting aan de uitlaatzijde. Bij de klassen A en B is dit niet het geval, terwijl dit bij de klassen C en D wel het geval is.

De twee opbouwvolgorden worden nog eens opgedeeld in twee groepen: de kamer- en de buisproefstanden (respectievelijk "Kammerprüfstand" en "Rohrprüfstand" links te zien op bijlage 1). Het onderscheid hier wordt gemaakt naar het al of niet aanwezig zijn van een opvulvolume in de proefstand. Kamerproefstanden bezitten dit wel, buisproefstanden niet.

Deze twee groepen worden nu elk nog eens onderverdeeld naargelang de zijde van de aangesloten belasting: -drukzijdig of op de uitlaatzijde belast
- op de aanzuigzijde belast.

De proefstand die wij gebruikten is het best terug te vinden onder klasse C, namelijk bij de Prüfstandsanordnung 2, Rohrprüfstand, druckseitig. Of in het Nederlands: buisvormige drukzijdig aangesloten ventilator volgens bouwvolgorde 2 (de linkse van de twee voorgestelde types).

Deze proefstandordering is beter voorgesteld in bijlage 2. Als we deze vergelijken met de proefstand die wij gebruikt hebben, dan zien we dat de volgorde van de verschillende onderdelen dezelfde is. Zie figuur 26.

4.2 Opbouwvolgorde van het gekozen type

zie bijlage 3: foto's van de proefstand

zie bijlage 4: foto van de ventilator

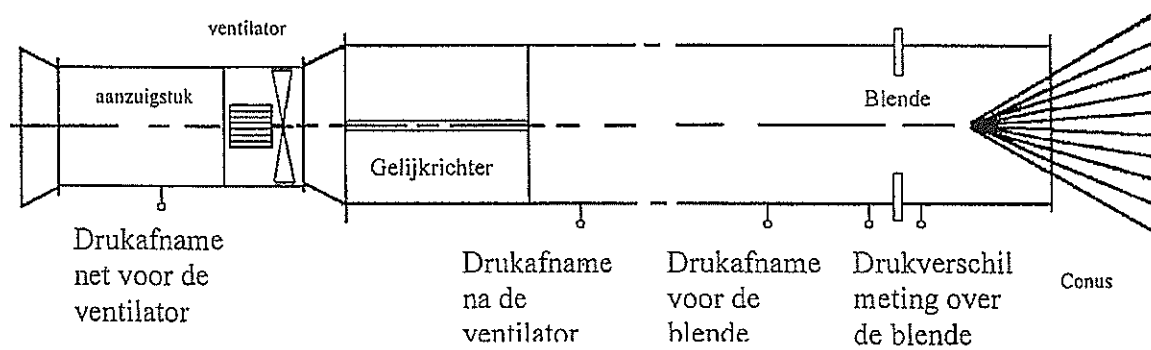


fig. 26

Wanneer we de figuur van bijlage 2 nader bekijken, kunnen we verschillende onderdelen waarnemen. De volgorde van de verschillende onderdelen is specifiek voor dit model van proefstand. De weg die de lucht aflegt, is de volgende:

Doorstroomrichting
van de lucht

- *Storingsvrije aanzuigopening*
- *Aanzuigopening met drukmeting*
- Ventilator
- *Gelijkrichter met drukmeting*
- Overgangsstuk
- *Debiet-meetgedeelte (= de blende)*
- Overgangsstuk
- *Regelbare weerstand (Eventueel met gelijkrichting en hulpventilator)*

De cursief aangeduide onderdelen worden in het volgende deel besproken naar de voorgeschreven norm en indien nodig wordt het doel verduidelijkt.

5 Bespreking van de proefstandonderdelen

5.1 Storingsvrije aanzuigzone

5.1.1 Beschrijving en normering

De storingsvrije aanzuigzone is een kubusvormige zone die zich voor de aanzuigopening van de ventilator bevindt. Volgens de Duitse norm DIN 24163 mag er zich in deze zone geen enkel voorwerp bevinden dat de doorstroming van de lucht verhindert of zelfs beïnvloedt. Dit kan gaan van tussenwanden tot personen. Ook de grootte van deze ruimte is genormeerd. Ze is echter afhankelijk van de diametergrootte van de testbuis. De grootte moet minimaal voldoen aan volgende norm: $a_0 = b_0 \geq 2,5 d_0$

waarin - a_0 = de lengte van de ruimte

- b_0 = de breedte van de ruimte

- d_0 = de diameter van de testbuis

5.1.2 Doel

Het doel van deze zone is er voor te zorgen dat niets de doorstroming van de lucht beïnvloedt, waardoor er fouten zouden kunnen optreden bij de metingen.

5.2 Aanzuigopening

5.2.1 Beschrijving en normering

De Duitse norm DIN 24163 schrijft voor dat het voorste uiteinde van de proefstand niet rechtlijnig mag doorlopen maar dat de buis een verbreding moet ondergaan. De inlaatzijde van de proefstand krijgt dus een trechtervorm, zoals te zien is op figuur 26. De voorgeschreven maten van de aanzuigbuis zijn eveneens voorgesteld op deze figuur.

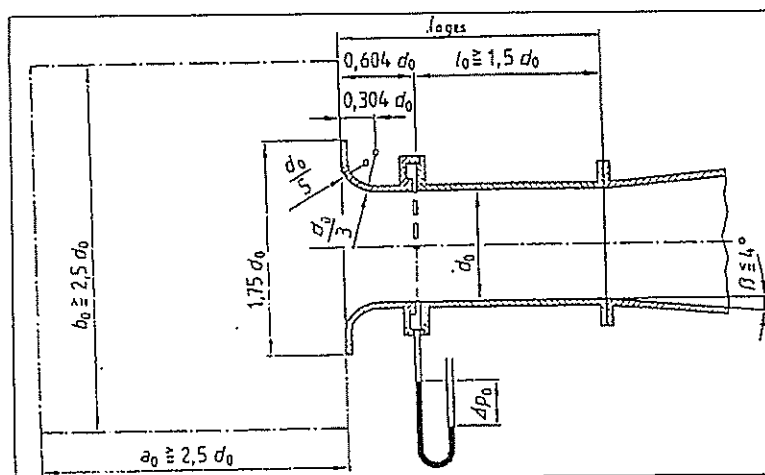


fig. 26

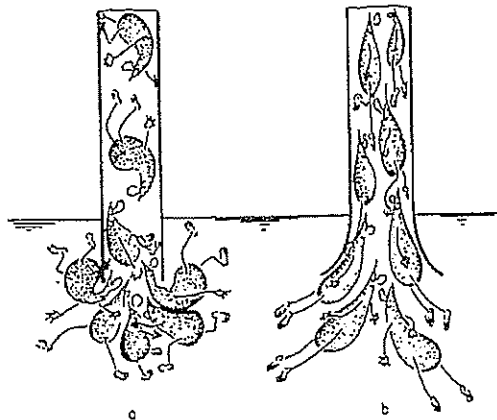
De belangrijkste maten worden hieronder opgesomd:

- De diameter van het uiteinde moet minimaal 1,75 maal de diameter van de proefbuis zijn.
- De straal van de afronding moet 1/3 van de diameter van de testbuis (d_0) zijn, waarvan het middelpunt op een afstand van 0,304 maal d_0 ligt.
- Zoals te zien is op de figuur moet ook een drukafname plaatsvinden na de inlaat. Die drukafname moet op een afstand 0,604 maal d_0 liggen.
- De totale lengte van de inlaatbuis moet minstens 2,1 keer groter zijn dan de testbuisdiameter.

De afmetingen op de tekening voor de inlaatopening, zijn de voorstelling van de storingsvrije ruimte die besproken werd in punt 5.1: de storingsvrije aanzuigzone.

5.2.2 Doel

Het doel van de inlaattuit is het beperken van de inlaatverliezen. Inlaatverliezen treden op, wanneer er bij het aanzuigen van lucht wervelingen rond de opening optreden. Deze wervelingen zijn te wijten aan de scherpe overgang aan de zuigmond. Door een trechtervorm te geven aan de inlaatopening ontstaat er een minder scherpe overgang waardoor minder wervelingen ontstaan met als gevolg dat de instroomverliezen minimaal worden.



a: Geen trechtervorm aan de inlaat \Rightarrow veel inlaatverliezen
b: Wel een trechtervorm aan de inlaat \Rightarrow geen inlaatverliezen

fig. 27

5.3 Gelijkrichter

5.3.1 Normering

In DIN 24163 is normering voor het gelijkrichterdeel te vinden. Dit komt waarschijnlijk omdat er verschillende methoden zijn om een gelijkrichter op te bouwen. Deze methoden worden beschreven in het volgende onderdeel.

5.3.2 Doel

Aangezien de te meten drukken bij ventilatoren de statische en de dynamische druk zijn, kunnen we de wet van Bernoulli toepassen bij ventilatoren. Zoals eerder vermeld is de snelheidscomponent van de uitlaat bij axiaalventilatoren niet evenwijdig met de hoofdas van de ventilator maar, is de snelheidscomponent tangentiaal of spiraalvormig. Hierdoor gaat een groot deel van de dynamische druk verloren.

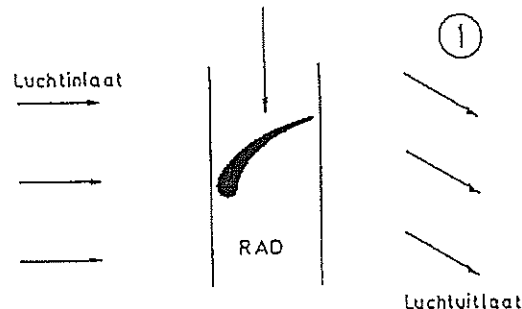


fig. 28: De inlaat en uitlaatrichting van een axiaalventilator zonder enige vorm van contrarotatie

Het is nu de bedoeling die verloren druk te herwinnen. Dit kan enkel door de snelheidscomponent terug recht te vormen. Hiervoor bestaan verschillende methodes. Hieronder hebben we de verschillende methodes uitgewerkt.

5.3.3 Methodes van gelijkrichten

5.3.3.1 Leirad voor de rotor

Om de uitlaat van axiale ventilatoren evenwijdig met hoofdas te laten gebeuren kan men een leirad voor de rotor plaatsen. Dit is een schoepenkrans die niet meedraait met de rotor. Die schoepenkrans wordt zo geplaatst dat de snelheid van de aangezogen lucht een tangentiaalcomponent krijgt die tegengesteld is aan de uitlaatrichting van de oorspronkelijke beweging. Hierdoor zullen de twee tegengestelde bewegingscomponenten elkaar opheffen, waardoor de uitlaatrichting ongeveer evenwijdig zal zijn met de hoofdas van de ventilator.

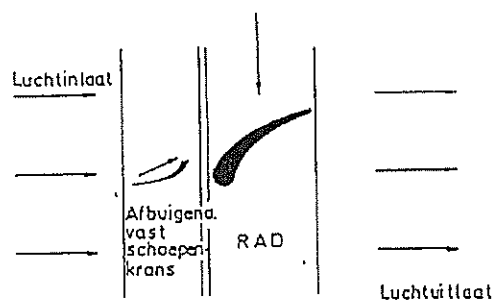


fig. 29: gelijkrichting met een leirad dat voor de rotor geplaatst is

5.3.3.2 Leirad na de rotor

Deze tweede methode om de tangentialcomponente uit de uitlaatrichting te halen, is zeer gelijkend aan de eerste methode. Het enige verschil is dat de vaste schoepenkrans niet voor maar na de rotor geplaatst wordt. Het principe van de afbuiging blijft dus dezelfde, zodat ook hier bijna een evenwijdige uitlaat aan de hoofdas wordt bekomen.

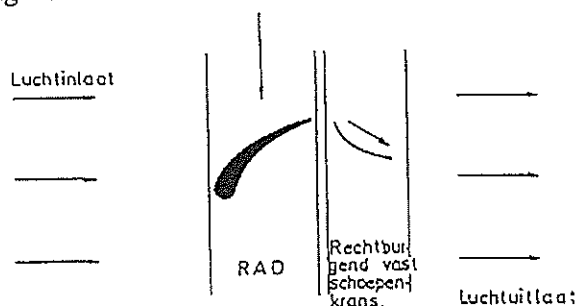


fig. 30: gelijkrichting met een leirad dat na de rotor geplaatst is

5.3.3.3 Contrarotatie door een tweede rotor

De derde en laatste methode is de meest doeltreffende van de drie. Bij dit principe maakt men gebruik van een tweede rotor die gelijk is aan de eerste rotor, maar in tegengestelde richting draait. Verder mogen er geen verschillen zijn noch bij het toerental, de vorm en de hoek van de schoepen. Wanneer dit voldaan is, zal de eerste rotor de uitlaatsnelheid een even grote tangentialcomponente meegeven als de tweede rotor maar met een tegengestelde zin. Zo zullen de twee componenten elkaar opheffen, waardoor de uitlaatrichting evenwijdig zal zijn met de hoofdas van de rotor.

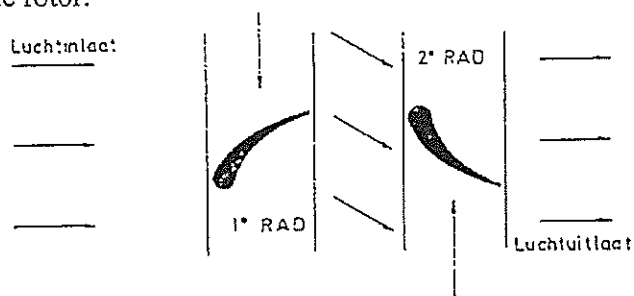


fig. 31: gelijkrichting door een tweede rotor.

5.3.4 Toepassing op de proefstand

Zie bijlage 5: foto van de gelijkrichter

Zie figuur 26

Op de proefstand die wij ter beschikking hadden werd een ander principe toegepast: een methode die gebaseerd was op een vast leirad na de rotor. Wij gebruikten een kruis na de rotor. Dit is een circa één meter lang kruis dat bestaat uit twee platen die loodrecht aan elkaar zijn gelast. Hierdoor wordt de roterende lucht onderschept en ongeveer evenwijdig met de hoofdas verdergevoerd.

5.4 Debietmeetgedeelte

5.4.1 Beschrijving

Het debietmeetgedeelte bestaat uit een lange buis waarin een apparaat zit om een drukverschil te creëren. Volgens DIN 1952, waarin in DIN 24163 naar verwezen wordt, kan voor dit apparaat gekozen worden uit een meetflens of uit een meettuit. Wij hebben gebruikgemaakt van een meetflens of een blende, omdat deze kan geplaatst worden in testbuizen met een diameter van 50 tot 1000 mm; terwijl de grootste diameter bij een meettuit slechts 500 mm is en dat terwijl onze testbuis een diameter heeft van 800 mm. Hieruit blijkt dat het gebruik van een meettuit uitgesloten is. De blende zelf is een eenvoudig element. Het is een platte schijf die dezelfde diameter heeft als de testbuis. In het midden van deze schijf is een gat gemaakt waarvan de grootte verschillend kan zijn.

Zie bijlage 6: foto van de blende

5.4.2 Normering

Zowel de plaatsing van de blende als de constructie zijn genormeerd. Dit is niet te vinden in DIN-24163. In deze norm wordt er wel verwezen naar een tweede Duitse norm, namelijk DIN-1952.

De plaats van het debietmeetgedeelte is afhankelijk van de diameter van de testbuis en van de diameter van de blende. Om de exacte plaats te weten wordt de verhouding “diameter blende op diameter testbuis” gemaakt. Zo bekomt men de waarde m , waardoor uit onderstaande tabel de plaats van de blende kan bepaald worden.

m	l_6 [m]	l_7 [m]
0.05	12.8	3.2
0.1	12.8	4
0.2	14.4	4.8
0.3	16	4.8
0.4	19.2	5.6
0.5	25.6	5.6
0.6	35.2	6.4

Hierin is l_6 de afstand tot de inlaatopening van de testbuis.
 l_7 is de afstand tot de uitlaatopening van de testbuis.

De grote afstanden zijn nodig om een gelijkvormige stroming te bekomen aan de meetflens.

Zoals eerder vermeld is ook de montage van de meetflens genormeerd. In figuur 32 is een schets van deze montage te zien.

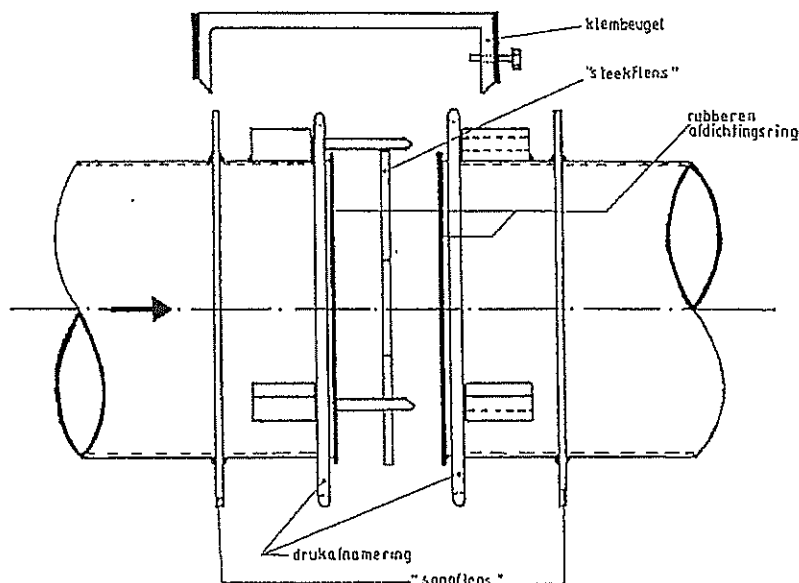


fig. 32

De steekflens wordt tussen twee rubberen afdichtingen geplaatst om zo luchtverliezen te vermijden. Aan de buitenste diameter van de blende zijn twee platte kanten gemaakt omdat hij zou passen tussen twee staven die aan weerszijden van de testbuis zitten. Er zit ook nog een derde steunstaaf onder aan de testbuis. Zo zit de blende steeds gecentreerd in de testbuis en zijn er geen montageproblemen. Op elke buis is er een spanflens gemonteerd. Zo kunnen de twee buizen aan elkaar geklemd worden en zit de blende goed vast. Op de figuur zijn de twee spanflenzen opgespannen met twee of drie klembeugels. Bij de proefstand die wij gebruiken gebeurt, dat met vier bouten.

Zie bijlage 7: foto van het debietmeetgedeelte

5.4.3 Doel

Zoals te zien is op de figuur moeten drukken afgenomen worden voor en na de blende. Aangezien de blende een drukverschil moet creëren is dat vrij logisch. Voor de blende treedt een hogere druk op dan na de blende. Uit dat drukverschil kan het debiet bepaald worden met

$$\text{de formule: } \dot{V} = \alpha \cdot \varepsilon \cdot A_d \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p_0}{\rho_0}}$$

Voor een verder verklaring zie 3.2 Het debiet.

5.5 Regelbare weerstand

5.5.1 Beschrijving

De norm schrijft voor dat elke ventilatorproefstand moet voorzien worden van een regelinrichting. Dit is een element dat in de testbuis kan geschoven worden zodat de uitlaat van de ventilator gesmoord wordt en de ventilator een grotere weerstand ondervindt. Die regelbare weerstand moet aan enkele voorwaarden voldoen. Hier worden enkel de belangrijkste besproken.

De regelinrichting

- moet een vaste en gelijkmatige regeling van de volumestroom toestaan.
- mag geen trillende uiteinden hebben.
- mag bij volledige opening enkel een geringe weerstand bieden aan de doorstroming.

De norm schrijft ook de opbouw voor van de regelinrichting, maar omdat deze teveel afwijkt van wat wij gebruiken, wordt de methode hier niet besproken. De methode die wij toepassen voldoet wel aan alle normen.

5.5.2 Doel

Zoals de naam het zegt, is dit onderdeel in staat om de doorstroming van de lucht te regelen. Als de weerstand verandert zullen het debiet en de totale opvoerdruk veranderen. Hierdoor bekom je verschillende punten die uitgezet kunnen worden in een grafiek. De regeling van de ventilatorweerstand is de essentie om een ventilator karakteristiek op te maken.

5.5.3 Toepassing op de proefstand

Het systeem dat wij ter beschikking kregen, is te zien op onderstaande figuur.

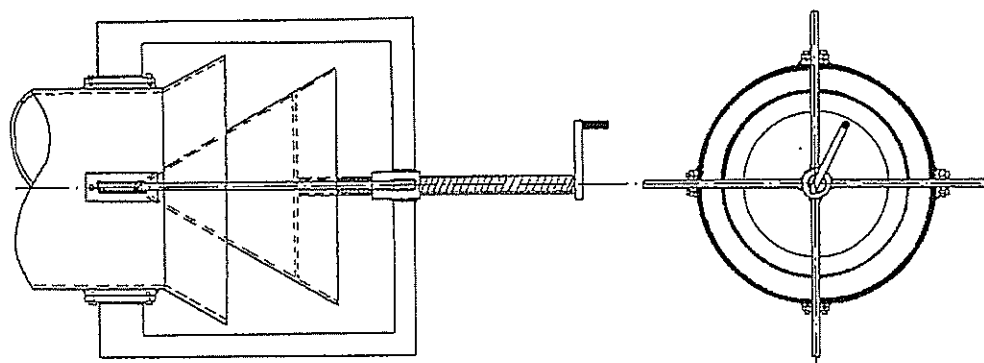


fig. 33

Verklaring: Op de linkse figuur ziet men een zijaanzicht te zien van de regelinrichting. Het uiteinde links is het einde van de testbuis. Daarna volgt de uitlaatconus, die precies dezelfde vorm heeft als het kegelvormige deel dat half in en half uit de testbuis zit. Die kegelvorm is de uiteindelijke smoorklep. Dit deel kan in en uit de testbuis geschoven worden naargelang de gewenste belasting. Het in- en uitschuiven gebeurt van op afstand en is elektrisch bedienbaar, zodat geen extra mechanische aanhangselen aangebracht zijn, zoals voorgeschreven is in de DIN-norm.

Op de rechtse figuur is een vooraanzicht te zien van de regelinrichting. De buitenste cirkel is het einde van de uitloopconus. De tweede dikke cirkel is het breedste gedeelte van het inschuifgedeelte. Dit valt samen met het uiteinde van de testbuis, net voor de uitlaatconus begint. Deze diameters zijn dus aan elkaar gelijk. De verticale baren getekend op beide figuren zijn zowel de bevestigingsplaatsen als de geleidingsassen.

Zie bijlage 8: foto's van de regelinrichting

6 Driefasenmotor

6.1 Ontstaan van een driefasennet

Een driefasennet berust op hetzelfde principe als een eenfasig net. In het principe van een eenfasennet wordt een spanning opgewekt door het bewegen van een geleider in een magnetisch veld. Bij een driefasennet worden drie eenfasige spanningen opgewekt in drie spoelen die op gelijke onderlinge afstand van elkaar liggen.

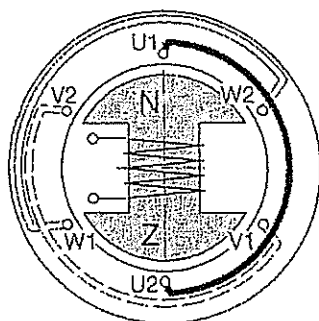


fig.34: opstellingsvorm van de spoelen u, v, w om een driefasenspanning op te wekken.

Omdat de spoelen niet op 1 lijn staan, zullen de spanningen op verschillende momenten nul zijn en op verschillende momenten maximaal zijn. Om de spoelen op gelijke afstand van elkaar te plaatsen in een cirkel zullen de spoelen op een hoekverschil van 120° of $2/3 \pi$ uit elkaar liggen. Aangezien 360° hier de totale periode is van een fase, zullen de maximumwaarden en de nulwaarden $1/3 T$ (= de periode) van elkaar verschoven zijn.

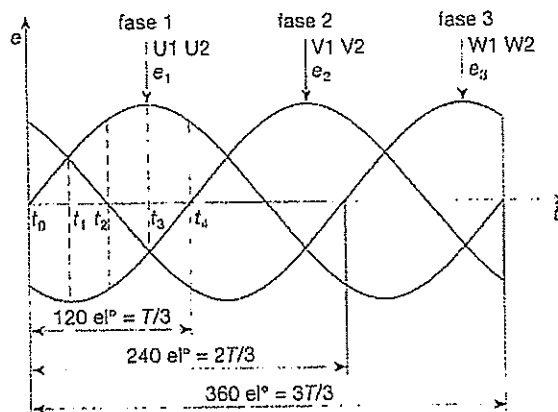


fig.35: grafische voorstelling van de verschillende opgewekte spanningen.

benamingen

- De drie spoelen hebben een vaste naam gekregen. Deze naamgeving is als volgt:

- Spoel 1: $u_1 - u_2$
- Spoel 2: $v_1 - v_2$
- Spoel 3: $w_1 - w_2$

- Als men de drie spoelen waarin een wisselspanning wordt opgewekt, verbindt met een gebruiker, bekomt men in elke van de drie ketens een fasewisselstroom.

De spanning op de klemmen van iedere fase noemt men de fasespanning U_f .

De fasestroom I_f is de stroom die iedere fase levert.

6.2 De sterschakeling

6.2.1 Opstelling

De drie spoelen kunnen nu met elkaar verbonden worden. Wanneer de drie beginklemmen of de drie eindklemmen van de spoelen aan elkaar worden geschakeld, spreken we van een sterschakeling. Dit komt er dus op neer dat de klemmen u_1 , v_1 en w_1 met elkaar verbonden zijn of dat de klemmen u_2 , v_2 en w_2 met elkaar verbonden zijn.

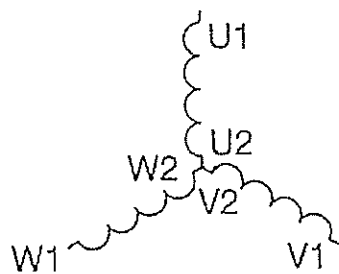


fig. 36

6.2.2 Hoofdeigenschap van de sterschakeling

De hoofdeigenschap van de sterschakeling slaat op het punt waar de drie fasen met elkaar verbonden zijn. Dit punt wordt het sterpunt genoemd. Wanneer een geleider met dit punt zou verbonden zijn, zou de stroom in dit punt gelijk zijn aan nul. Deze eigenschap is zeer gemakkelijk te bewijzen aan de hand van de vectoriële voorstelling van de drie stromen.

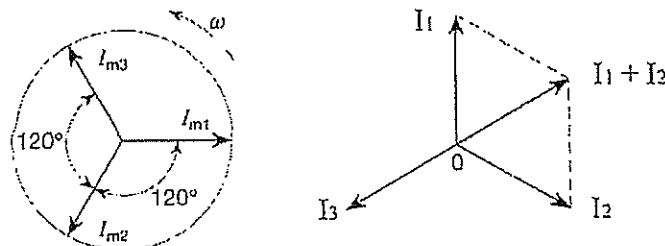


fig. 37

Op de linkse figuur is de vectoriële voorstelling van de drie stromen te zien. Op de rechtse figuur is de vectoriële som gemaakt van I_1 en I_2 . Wanneer we de figuur bekijken die gevormd is door I_1 , I_2 en hun som, dan zien we dat dit een gelijkzijdige driehoek is, want I_1 en I_2 zijn aan elkaar gelijk en vormen met elkaar een hoek van zestig graden. Daaruit volgt dat de som van I_1 en I_2 gelijk is aan I_1 en I_2 , maar ook aan I_3 . De hoek tussen I_3 en $I_1 + I_2$ is 180° , waaruit volgt dat de vectoriële som gelijk is aan nul.

6.2.3 Lijnspanning bij een sterschakeling

We weten reeds dat tussen iedere fase- of lijndraad (= geleider op het einde van de spoel verbonden met weerstand) en de nullijn (= draad verbonden met het sterpunt) de fasespanning bestaat. Maar tussen twee lijndraden heerst ook een spanning. Dit noemt men de lijnspanning.

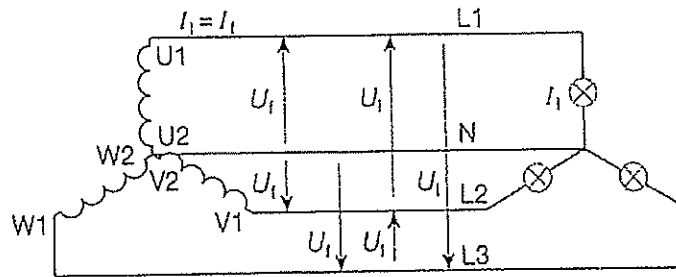


fig. 38: de voorstelling van de lijnspanningen (U_l) en de fasespanningen (U_f)

Er kan bewezen worden dat de lijnspanning gelijk is aan $\sqrt{3}$ maal de fasespanning. Dit wil zeggen dat de spanning tussen twee lijndraden groter is dan de spanning tussen de nullijn en de lijndraden. Deze specifieke eigenschap geldt echter niet voor de stroom, want de lijnstroom (I_l) is gelijk aan de fasestroom (I_f).

6.3 Driehoekschakeling

6.3.1 Opstelling

De drie spoelen kunnen onderling ook nog op een tweede manier verbonden worden. Als de beginklem van de ene spoel verbonden wordt met de eindklem van de andere spoel, bekomt men een driehoekschakeling. Dit komt er bvb. op neer dat u_1 en v_2 met elkaar verbonden zijn, terwijl u_2 aan w_1 verbonden is.

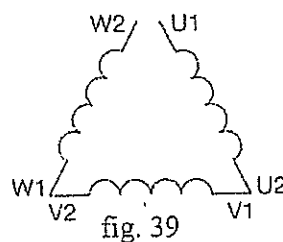


fig. 39

6.3.2 Hoofdeigenschap van de driehoeksschakeling

Eigenschap: De algebraïsche som van de drie opgewekte spanningen is op elk ogenblik gelijk aan nul.

Bewijs: Zie figuur

op tijdstip t_0 : De ogenblikkelijke waarde van de opgewekte spanning in de wikkeling U_1U_2 is gelijk aan nul. In de tweede fase V_1V_2 is V_1 negatief ten opzichte van V_2 . In de derde fase W_1W_2 is W_1 positief ten opzichte van W_2 . Deze twee emk's (opgewekte wisselspanningen) zijn op dit ogenblik gelijk in waarde, maar zijn tegengesteld geschakeld waardoor zodat tussen de punten U_1 en W_2 geen spanning aanwezig is.

op tijdstip t_1 : Op dit ogenblik is de Emk in fase V_1V_2 maximaal. De waarden van de Emk's in de wikkelingen U_1U_2 en W_1W_2 is gelijk aan de helft van de

maximum waarde. Deze twee emk's zijn positief, of m.a.w. U1 en W1 zijn positief respectievelijk ten opzichte van U2 en W2. De spanning over V1V2 is negatief of V1 is negatief ten opzichte van V2. De resulterende spanning tussen de punten U1 en U2 is bijgevolg ook op dit ogenblik gelijk aan nul.

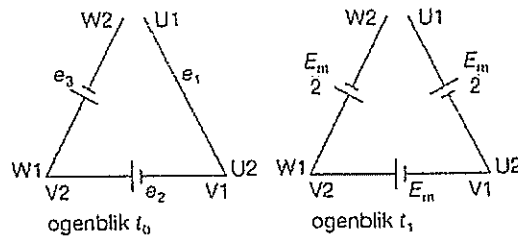


fig. 40

6.3.3 Lijnstroom bij een driehoeksschakeling

Wanneer we de onderstaande figuur beschouwen, is duidelijk te zien dat de spanning over één fase gelijk is aan de spanning tussen twee lijnen.

Er is echter wel een verschil tussen de lijn- en de fasestroom. Zo is de lijnstroom in lijn 1 samengesteld uit de twee fasestromen I_{f1} en I_{f3} , in lijn 2 uit I_{f1} en I_{f2} en in lijn 3 uit I_{f2} en I_{f3} . Er kan bewezen worden dat de lijnstroom $\sqrt{3}$ maal groter dan de fasestroom.

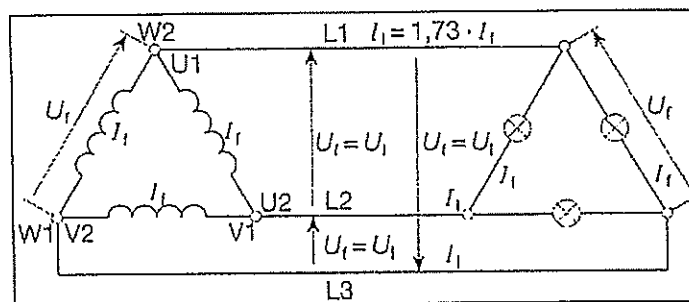


fig. 41

6.4 De arbeidsfactor

De arbeidsfactor λ duidt de faseverschuiving aan tussen de stroom en de spanning. Bij een evenwichtig (dit wil zeggen dat alle aangesloten weerstanden gelijk zijn) belast net (zoals bij een motor) is de faseverschuiving tussen de lijnspanning en de lijnstroom voor elke fase dezelfde. In dit geval is de arbeidsfactor λ gelijk aan cosinus van de hoek φ . De hoek φ is gelijk aan het faseverschil tussen de lijnspanning en de lijnstroom. Zie figuur 42.

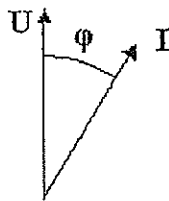


fig. 42

De arbeidsfactor moet zo groot mogelijk zijn. Dit betekent dat als U en I in fase zijn de $\cos \varphi$ gelijk is aan $\cos 0 = 1$.

Als de $\cos \varphi$ gelijk is aan 1, zal het produceren en vooral het verdelen van de spanning het goedkoopst zijn. Je zal een groter vermogen kunnen verdelen met eenzelfde capaciteit van het net.

6.5 De driefasige motor

Een motor kan je zowel in ster als in driehoek schakelen. Hoe kan je weten hoe je de motor moet schakelen? Dit hangt af van de aanduiding op de kenplaat van de motor. Daarop vonden we de aanduiding 230/400V.

Hieruit leid je af : - Je kunt de motor aansluiten op 3 x 230V of 3 x 400V
- De spanning over een fasewikkeling U_f moet 230V bedragen

Veronderstel dat je een netspanning 3 x 400V hebt, dan is dit het resultaat:

- Een motor met aanduiding 230/400V kun je aansluiten op dit net van 3 x 400V.
- Je moet de motor in ster aansluiten, vermits de fasespanning 230V moet zijn.

Zie figuur 43.

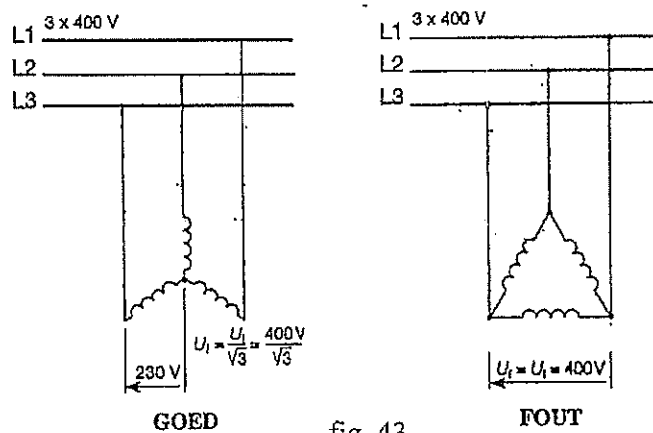


fig. 43

Indien je de motor in driehoek zou aansluiten, dan zou de fasespanning 400V bedragen. Er moet echter een spanning van 230V over de wikkeling staan. Dus wordt er gekozen voor de sterschakeling.

6.6 Doel van driefasenschakeling

Het doel, van een motor aansluiten op een driefasennet, is om de aanloopstroom bij het starten van de motor te beperken. Wanneer de aanloopstroom te groot is, moet er een te groot koppel overwonnen worden omdat de motor in een korte tijdspanne op volle toeren zou moeten draaien. Is de aanloopstroom beperkt wordt, zal de motor in stappen tot zijn nominaal toerental gaan. Zo zal je ook de wikkelingen niet kunnen verbranden en zal de motor dus niet stuk gaan.

7 Het rendement van een ventilator

Het rendement is altijd de verhouding tussen het uitgaand vermogen (het nuttig vermogen) en het ingaand vermogen (het toegevoerd vermogen).

$$\eta = \frac{P_{\text{uitgaand}}}{P_{\text{ingaaand}}}$$

7.1 Het ingaand vermogen

Het ingaand vermogen is dus het toegevoerd vermogen aan de as. Dit vermogen kunnen we opmeten via verschillende methodes:

1. door een elektrische meting
2. door een mechanische meting

7.1.1 De elektrische meting

Bij de elektrische meting meten we niet aan de as, maar we meten het ingaand vermogen van de ventilator. Dit komt overeen met het opgenomen vermogen uit het driefasig net.

De gemakkelijkste methode om het vermogen van een driefasig net te bepalen is de tweewattmetermethode.

Eén van de fasen wordt als nulpunt voor de spanningen gekozen. Op die manier heb je maar twee wattmeters nodig. Het totale vermogen is de som van de waarden die we kunnen aflezen op de twee wattmeters.

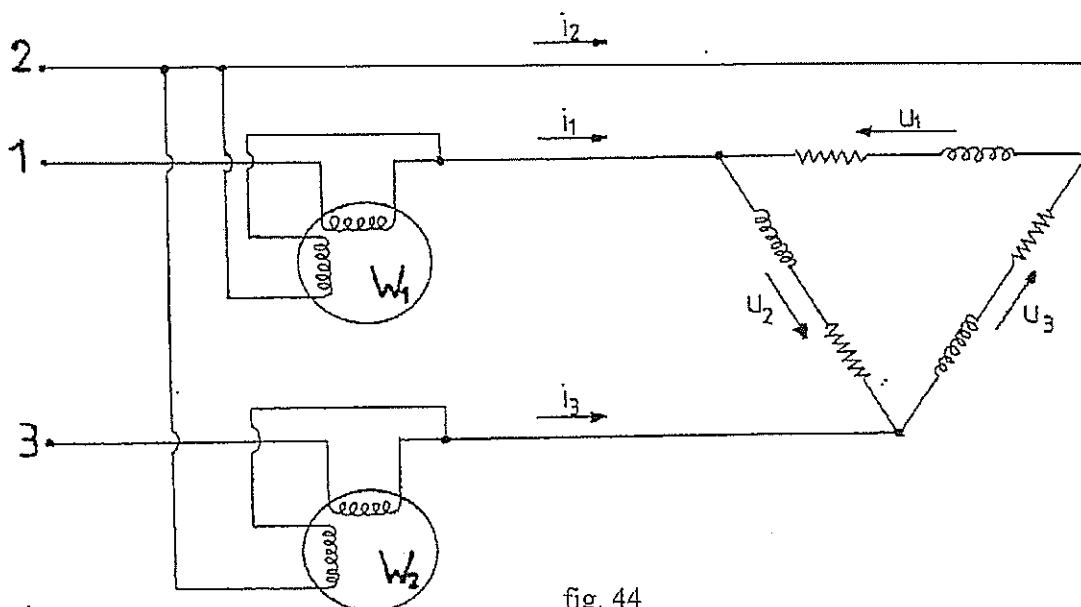


fig. 44

Nu hebben we het vermogen van de motor bepaald. De ronddraaiende beweging van de motor moet nu nog overgedragen worden op de ventilator. Dit kan op twee manieren: door een rechtstreekse koppeling of door middel van een riem en riemschijven. In ons geval gebeurt de overbrenging op de laatste wijze

Bij het opmeten van het vermogen van de motor moeten we er rekening mee houden dat niet het volledige vermogen aan de as zal overgebracht worden. We moeten een aantal verliezen zoals het rendement van de motor, verliezen in de koppelingen en in de riemoverbrenging en lagerverliezen. Sommigen van deze verliezen zijn te berekenen, maar onze berekeningen zouden onnauwkeurig worden, omdat de theoretische waarden van deze verliezen niet nauwkeurig overeen komen met de echte waarden. Ook op de waarde van het rendement van de motor zit er een fout. Daarom zullen we de tweewattmetermethode niet gebruiken om het ingaand vermogen van de ventilator te bepalen.

7.1.2 De mechanische meting

We kunnen het mechanische vermogen aan de as vinden aan de hand van volgende afleiding vanaf de basisvergelijking voor het asvermogen:

$$P_{as} = \frac{W}{\Delta t}$$

$$W = F \times \Delta s$$

$$\Delta s = 2 \times \pi \times r \times n$$

$$P_{as} = \frac{F \times 2 \times \pi \times r \times n}{\Delta t}$$

$$F \times r = M$$

de verhouding $\frac{2 \times \pi \times n}{\Delta t}$ is gelijk aan de hoeksnelheid ω .

Daaruit volgt:

$$P_{as} = M \times \omega$$

Deze waarden kunnen we bepalen uit de meting die voorgesteld werd in figuur 45.

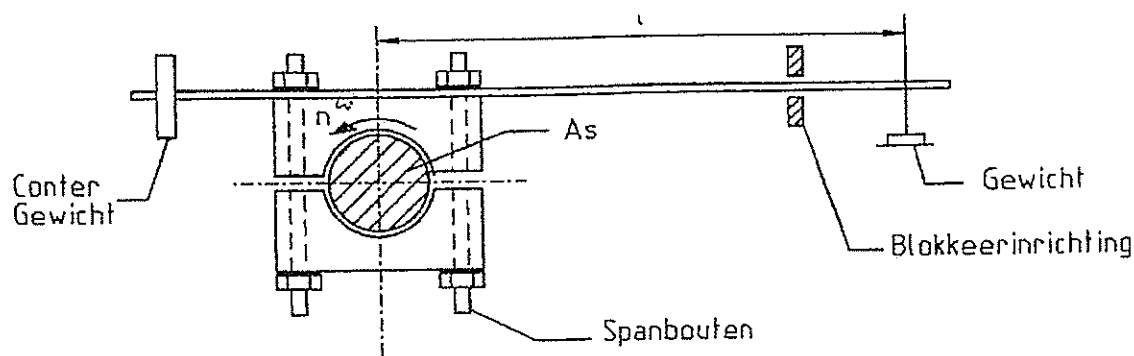


fig. 45

Op de figuur zien we dat het moment M gelijk is aan $F_g \times l$.

F_g is gelijk aan $m \times g$ (de massa van het gewicht vermenigvuldigd met de aardse aantrekkingskracht)

De hoeksnelheid ω is gelijk aan $\frac{2 \times \pi \times n}{\Delta t}$ met Δt gelijk aan 60 seconden (1 minuut).

Daaruit volgt:

$$P_{as} = \frac{2 \times \pi \times n \times m \times l \times g}{60}$$

Waarbij we m en l kunnen gelijkstellen aan hun eenheidswaarde.

Daaruit volgt:

$$P_{as} = \frac{2\pi \times n \times g}{60}$$

- P_{as} = het ingaand vermogen aan de as (W)
 n = het toerental van de ventilator (min^{-1})
 g = de aardversnelling (N/kg)

7.2 Het uitgaand vermogen

Het uitgaand vermogen van de ventilator kunnen we bepalen uit de algemene formule van vermogen:

$$P_{uit} = \frac{W}{\Delta t}$$

$$W = F \times \Delta s$$

kracht F is gelijk aan het drukverschil Δp op het oppervlak A .

$$P_{uit} = \frac{\Delta p \times A \times \Delta s}{\Delta t}$$

De verhouding van Δs en Δt kunnen we vervangen door de snelheid v .

$$P_{uit} = \Delta p \times A \times v$$

We kunnen nu $A \times v$ nog vervangen door het debiet \dot{V}

Daaruit volgt:

$$P_{uit} = \Delta p_t \times \dot{V}$$

- P_{uit} = het uitgaand vermogen (W)
 Δp_t = de totale opvoerdruk (Pa)
 \dot{V} = het debiet van het fluïdum (m^3/s)

DEEL 2

METINGEN

1 Hoe verloopt een meting?

1.1 Drukmetingen

Bij een meting moeten we vier keer de druk meten. Eenmaal net voor de ventilator, een tweede keer na de ventilator, een derde keer net voor de blende en tenslotte meten we ook nog het drukverschil over de blende. De eerste drie metingen gebeuren met behulp van een waterkolom. De meting van het drukverschil over de blende gebeurt met een digitale drukmeter.

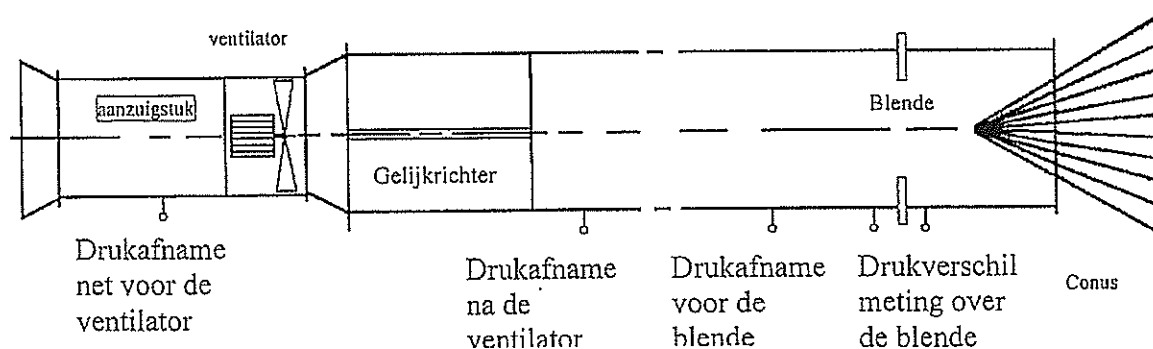


fig. 46

1.1.1 Drukmeting met behulp van een waterkolom

Op de figuur hierboven kunnen we zien dat de druk driemaal afgenomen wordt. Op een plaats waar er een drukafname gebeurt, werden er een achttal gaten geboord. De druk wordt afgenomen van deze acht gaten. Vervolgens voegen we deze drukken samen in een grote ring. Dit doen we zodat we een gemiddelde druk zouden hebben van de hele omtrek van de testbuis. Omwille van een turbulente stroming zou het kunnen dat er een onjuiste waarde zou gegeven worden als er maar aan één kant druk afgenomen zou worden. In de ring hebben we dus de gemiddelde waarde van de druk in die welbepaalde doorsnede van de testbuis. De ring verbinden we met de waterkolom.

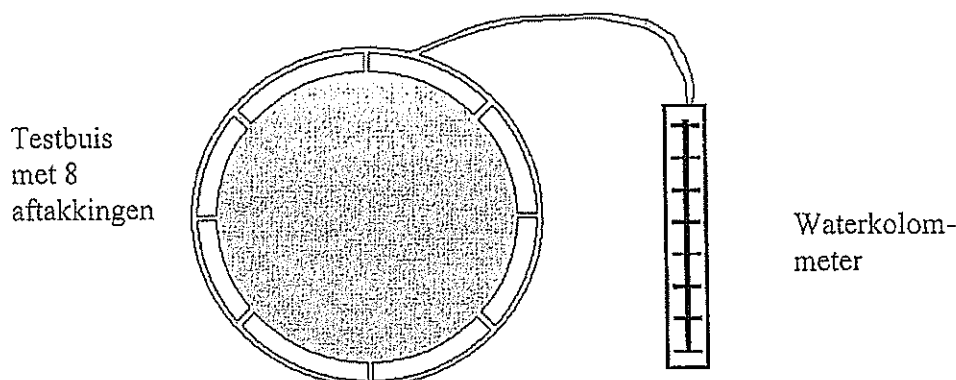


fig. 47

Op de waterkolom kunnen we de druk aflezen. De eenheid van deze waterkolom is millimeterwaterkolom (mmWk). Dit kunnen we omrekenen naar pascal (Pa).

We weten dat de algemene uitdrukking voor druk in een vloeistofkolom gelijk is aan:

$$p = \rho \times g \times h$$

- de soortelijke massa $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3 = 10 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$
- de aardversnelling $g = 9,81 \text{ N/kg}$
- de hoogte h is uitgedrukt in meter. Wij werken echter met mmWk. Daarom is het nodig om de omzetting van meter naar millimeter nog te maken.
→ $1 \text{ m} = 1000 \text{ mm}$
- Het aantal mmWk noemen we x .

daaruit volgt:

$$p = 10 \times 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{mm}^3} \times 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \times 1000 \times x \text{ mm}$$

$$p = 9,81 \times 10^{-3} \times x \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

De eenheid van druk is echter $\left[\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right]$.

$$\Rightarrow p = 9,81 \times 10^{-3} \times x \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times \frac{1000000 \text{ mm}^2}{1 \text{ m}^2}$$

$$\Rightarrow p = 9,81 \times 10^3 \times x \text{ [Pa]}$$

waarbij x het aantal mmWk is dat we aflezen op de waterkolommeter.

Bij het aansluiten van de druk op de waterkolom moeten we opletten of we te maken hebben met onderdruk of met bovendruk.

Net voor de ventilator hebben we te maken met een onderdruk. Na de ventilator en net voor de blende hebben we te maken met een drukverhoging (een ventilator levert namelijk een kleine drukverhoging).

Bij het aansluiten van de waterkolommeter bij een onderdruk moet je de druk aansluiten langs de bovenkant van de waterkolom.

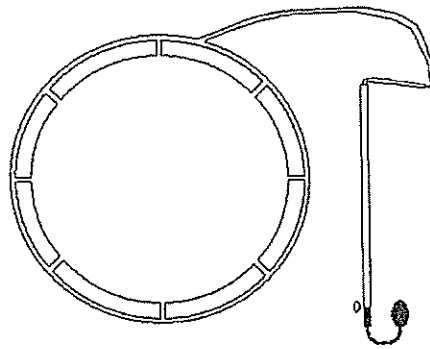


fig. 48

Vloeistofreservoir

Als de onderdruk gecreëerd is door de ventilator te laten draaien zal de vloeistof omhoog gezogen worden omdat er een onderdruk is.

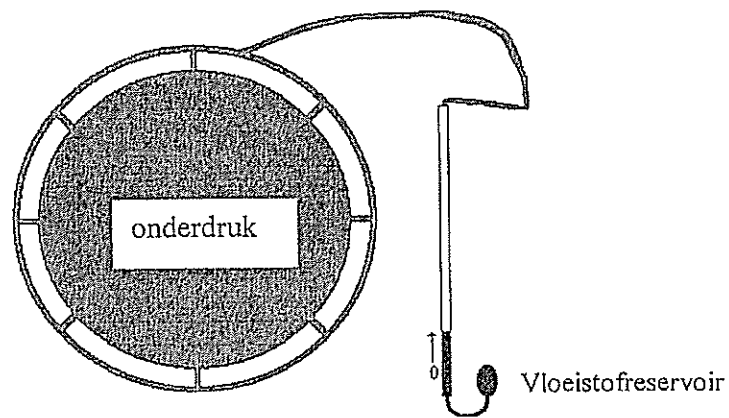


fig. 49

Vloeistofreservoir

Bij het aansluiten van een overdruk op een waterkolom moet je de druk aansluiten op het vloeistofreservoir.

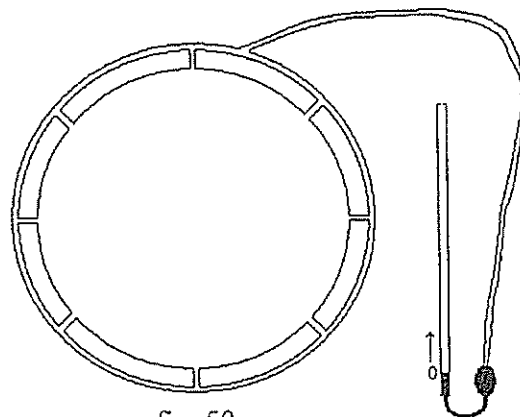


fig. 50

Als de bovendruk dan gecreëerd wordt zal de vloeistof in het vloeistofreservoir omhoog geduwd worden.

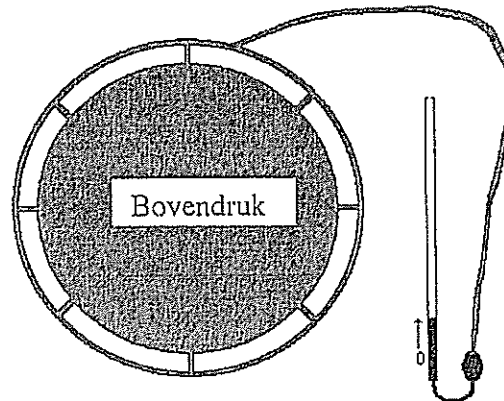


fig. 51

1.1.2 Meting van het drukverschil over de blende

Om het drukverschil over de blende te meten maken we gebruik van een meettoestel die ons ter beschikking is gesteld door het bedrijf Typhoon. Dit meettoestel is van het merk Testo Term type Testo 452. Om een juiste meting met dit toestel te kunnen uitvoeren is het nodig dat we het toestel op de juiste manier en op het juiste moment aansluiten.

Eerst laten we de ventilator draaien. Vervolgens sluiten we het meettoestel aan. Als we eerst het meettoestel aansluiten en dan pas de ventilator laten draaien krijgen we een verkeerde waarde gegeven door het meettoestel.

Zowel net voor als net na de blende bevinden zich twee ringen zoals beschreven in punt 1.1.1.

Het meettoestel geeft ons de waarde van het drukverschil tussen de twee ringen. Bij het aansluiten van het meettoestel moeten we er ook mee rekening houden in welke ring zich de grootste druk bevindt. Anders zullen we een negatief resultaat krijgen door het meettoestel. De ring met de grootste druk zal deze zijn net voor de blende. Deze ring zullen we dan ook verbinden met de klem aan het meettoestel waar er een +-teken te vinden is. Deze methode van aansluiten is te zien in figuur 52.

Zie bijlage 7: foto van het debietmeetgedeelte

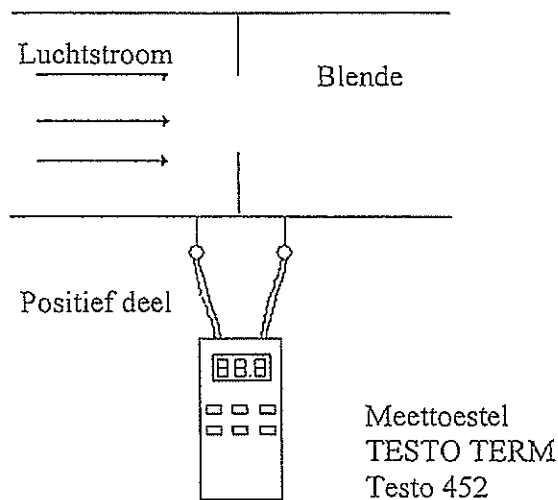


fig. 52

Als het meettoestel is aangesloten, merken we dat we helemaal geen constante waarde hebben. Het meettoestel is echter voorzien van een functie die ons in staat stelt de gemiddelde waarde te kennen van het drukverschil over een periode die wijzelf kunnen bepalen. Daarvoor laten we de timer een tijd lopen (\pm tien seconden). Na deze tijd kunnen we de gemiddelde waarde opvragen. Deze waarde gebruiken we in onze berekening van het debiet.

1.2 De temperatuur

Op een tweetal plaatsen wordt ook de temperatuur gemeten. Dit doen we met een digitale thermometer die we ter beschikking krijgen van het bedrijf Typhoon. Deze thermometer is van het merk Impac type Tastootherm D1002. Deze thermometer heeft een meetbereik van -40°C tot 1000°C .

We meten de temperatuur bij de aanzuigzijde van de proefstand en ter hoogte van de blende.

Bij de aanzuigzijde houden we de thermometer voor de proefstand, zo meten we eigenlijk de omgevingstemperatuur.

Ter hoogte van de blende is er een klein gaatje in de proefbuis voorzien. Door dit gaatje steken we de temperatuur zodat we de temperatuur kunnen meten. Uit onze resultaten blijkt dat de temperatuur bij de blende iets hoger ligt dan bij de aanzuigzijde van de proefbuis.

1.3 Relatieve vochtigheid en barometerstand

Deze twee grootheden worden gemeten om een idee te kunnen vormen bij welke omstandigheden gemeten wordt.

1.3.1 Relatieve vochtigheid

Lucht kan maar een bepaalde hoeveelheid water opnemen. Als het maximum bereikt is zeggen we dat de lucht verzadigd is. Hoeveel water lucht juist kan opnemen is afhankelijk van de temperatuur. Bij een bepaalde temperatuur bevat verzadigde lucht een constante hoeveelheid waterdamp.

Volgende tabel geeft weer hoeveel waterdamp uitgedrukt in g/m^3 verzadigde lucht bevat bij een bepaalde temperatuur.

$^{\circ}\text{C}$	-10	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
g/m^3	2,14	4,84	9,4	17,3	30,3	51	83	130	198	293	424

In een grafiek wordt dit :

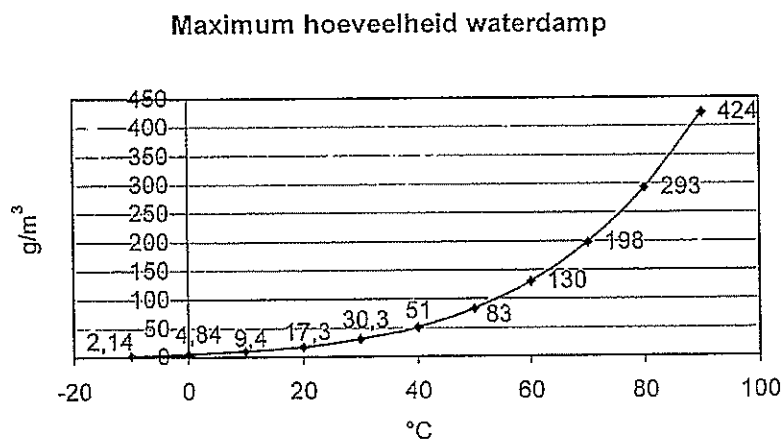


fig. 53

Het is natuurlijk wel moeilijk om te weten hoeveel waterdamp een kubieke meter nu werkelijk bezit omdat de maximum hoeveelheid afhankelijk is van de temperatuur. Daarom is er een nieuw begrip ingevoerd, de relatieve vochtigheid. Dit is de verhouding tussen de werkelijke hoeveelheid waterdamp die de lucht bevat en de maximum hoeveelheid waterdamp die de lucht kan bevatten (bij die temperatuur).

$$\text{De relatieve vochtigheid} = \frac{\text{Werkelijke hoeveelheid waterdamp die de lucht bevat}}{\text{Maximum hoeveelheid waterdamp die de lucht kan bevatten}}$$

Zo merken we dus op dat verzadigde lucht een relatieve vochtigheid heeft van 100 %.

Indien we 2 m^3 lucht met een relatieve vochtigheidscoëfficiënt van 60 % zouden comprimeren tot 1 m^3 bij een constante temperatuur dan zou de druk verdubbelen en het volume is

gehalveerd. In het nieuwe volume zou er dus een luchtvochtigheidsgraad van tweemaal 60 % aanwezig zijn wat 120 % zou zijn. Dit is echter onmogelijk. Een zesde van de waterdamp condenseert. Dit verklaart het neerslaan van water in compressoren, leidingen, enz. De lucht zelf is verzadigd en kan geen waterdamp meer opnemen.

1.3.2 Barometerstand

Een barometer wordt gebruikt om de luchtdruk te meten. Met de barometerstand bedoelt men de waarde van de luchtdruk op die welbepaalde plaats. Algemeen is de luchtdruk de druk die de atmosferische lucht uitoefent. Dit komt neer op het gewicht van de verticale luchtkolom boven een oppervlakte van één vierkante meter. Zo is het gemakkelijk te verklaren dat de luchtdruk op zeeniveau maximaal is. Hoe hoger we de luchtdruk meten hoe lager de maximum luchtdruk is. De SI-eenheid voor druk is pascal (Pa). Toch gebruiken we voor luchtdruk de eenheid millibar. 1 mbar komt overeen met 100 Pa (N/m^2). De gemiddelde luchtdruk op zee niveau bedraagt ongeveer 1013 mbar. Op 5500 m hoogte is deze al tot de helft gedaald.

1.4 Toerentalmeting

In het bedrijf Typhoon zijn we niet in de mogelijkheid om het toerental van de ventilator te meten. In onze berekeningen hebben we het nominale toerental van de ventilator genomen die we terugvonden op de kenplaat van de ventilator. Toch laten we niet na om de verschillende technieken van een toerentalmeting op te noemen.

We kunnen twee verschillende manieren om het toerental te meten onderscheiden. Ten eerste hebben we de optische of de foto-elektrische manier, een tweede mogelijkheid is om het toerental inductief te meten.

1.4.1 Optische of foto-elektrische toerentalmeting

Bij een optische toerentalmeting zullen we een tandwiel op de rotor van de ventilator monteren. Dit tandwiel heeft zestig tanden. We zullen verder een lichtbron laten schijnen op het tandwiel en een fototransistor. De tanden van het tandwiel zijn lichtweerkaatsend, de tandholten van het tandwiel zijn lichtabsorberend. De fototransistor is in staat om het teruggekaatste licht te detecteren. Telkens als er licht wordt teruggekaatst zal de fototransistor een elektrische impuls geven. Uit het aantal elektrische impulsen per tijdseenheid zijn we in staat om het toerental te berekenen.

1.4.2 Inductieve toerentalmeting

Ook bij een inductieve toerentalmeting sluiten we een getande ring aan op de rotor. Deze ring staat tegenover inductieve pick-up heads op de stator. Als de rotor draait worden spanningsimpulsen gegenereerd in de pick-up heads. Het aantal pulsen is afhankelijk van het aantal tanden en van het toerental. Uit het aantal elektrische impulsen per tijdseenheid zijn we dus in staat om het toerental te berekenen.

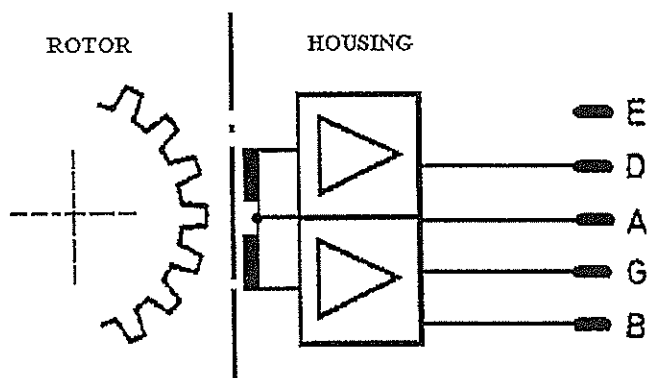


fig. 54

1.5 Meting van de hoek

Om de schoepenhoek in te stellen van de ventilator hebben wij een nieuw systeem bedacht. Toen ons werd uitgelegd hoe we de hoeken moesten instellen hadden wij onze bedenkingen bij de correctheid van dit systeem. Daarom zochten we naar een andere manier om de hoeken in te stellen.

We ontwikkelden een vast systeem waarbij een staaf in het midden van de ventilator vast zat. Op een dwarsligger monteerden we een verstelbaar plaatje. Dit plaatje wordt onder de juiste hoek gebracht met behulp van een hoekmeter. Wanneer de juiste hoek is ingesteld zetten we het plaatje vast en wordt het boven de ventilatorschoep gebracht. Nu hoeven we enkel de schoep nog te verdraaien tot deze dezelfde hoek heeft bereikt als het plaatje.

2 Meting met een blende van 500 mm

2.1 Algemene gegevens

De volgende algemene gegevens zijn afhankelijk van het type blende. Ze zijn dus constant voor alle metingen waarbij een blende van 500 mm gebruikt werd.

Verklaring	Symb.	Eenheid	Waarde
s.m. lucht	-	kg/m ³	1,293
Testbuis diameter	Ø	mm	800
Buitendiam. schoepen	d2	mm	465
<i>Diafragma DIN1952 :</i>			
Diameter	Ø	mm	500
Doorstroomcoëfficiënt	α	/	0,658
Expansiegetal	ε	/	1
<i>Meetoppervlakte :</i>			
Aanzuig	F1	m ²	0,5024
Wegsteek	F2	m ²	0,2826
<i>Aandrijving :</i>			
Motorvermogen	-	kW	1,5
l mmWk	-	bar	0,10197
Gaskst droge lucht	R	kgm/kg K	29,27
Verzadigingsdruk H ₂ O	P _d	kg/m ²	,022
Aardversnelling	g	m/s ²	9,81

Onderaan het overzicht van de verschillende meetresultaten zijn er enkele waarden berekend. De afleiding van de formules zijn in het eerste deel van deze geïntegreerde proef aan bod gekomen. Hier geven we nog een kort overzicht van deze formules

Het debiet: $\dot{V} = \alpha \times \varepsilon \times A \times \sqrt{\frac{2 \times \Delta p}{\rho}}$ (zie Deel 1 punt 3.2)

De opvoerdruk: $\Delta p_t = p_2 + p_1 + \Delta p_d$ (zie Deel 1 punt 3.1)

$$\Delta p_d = \frac{\rho}{2} \times \left(\frac{\dot{V}}{A_2} \right)^2 - \frac{\rho}{2} \times \left(\frac{\dot{V}}{A_1} \right)^2$$

Het asvermogen: $P_{as} = \frac{2\pi \times n \times g}{60}$ (zie Deel 1 punt 7.1.2)

Het asrendement: $\eta = \frac{P_{uitgaand}}{P_{ingaaand}}$ (zie Deel 1 punt 7)

$$P_{uit} = \Delta p_t \times \dot{V}$$

(zie Deel 1 punt 7.2)

$$P_{ingaaand} = \frac{2\pi \times n \times g}{60}$$

2.2 Rekenvoorbeeld

Hier geven we een rekenvoorbeeld van de berekende waarden die terug te vinden zijn in de volgende pagina's. We nemen één willekeurige kolom.

MEETGEGEVENS			
Temp. Aanzuig	t_1	°C	15,9
Temp. Blende	t_3	°C	15,9
Stat. Druk aanzuig	p_1	mmWK	3
Stat. Druk wegsteek	p_2	mmWK	18
Stat. Druk Blende	p_3	mmWK	12
Drukverschil Blende	Δp_{bl}	Pa	241
Ventilatorentoerental	n	t/min	1420
MotorAmperage gem. 3 Φ	I	A	3,05
cos φ Net gem. 3 Φ	cos φ		0,7
Motorvermogen gem. 3 Φ	P	W	940
BEREKENDE WAARDEN			
Debiet	v	m ³ /s	2,49
Totaal drukverschil	Δp_{tot}	mmWK	30
As vermogen	p_{as}	kW	1,46
As rendement	η	%	51

Het debiet:

$$\dot{V} = \alpha \times \varepsilon \times A \times \sqrt{\frac{2 \times \Delta p}{\rho}}$$

$$\dot{V} = 0,658 \times 1 \times 0,1963 \times \sqrt{\frac{2 \times 241}{1,293}} = 2,49 \text{ m}^3/\text{s}$$

De opvoerdruk:

$$\Delta p_t = p_2 + p_1 + \Delta p_d \text{ (zie Deel 1 punt 3.1)}$$

$$\Delta p_d = \frac{\rho}{2} \times \left(\frac{\dot{V}}{A_2} \right)^2 - \frac{\rho}{2} \times \left(\frac{\dot{V}}{A_1} \right)^2$$

We moeten deze laatste factor nog vermenigvuldigen met de omzettingsfactor 0,10197 zodat we de waarde in mmWk zouden bekommen.

$$\Delta p_t = p_2 + p_1 + \frac{\rho}{2} \times \left(\frac{\dot{V}}{A_2} \right)^2 - \frac{\rho}{2} \times \left(\frac{\dot{V}}{A_1} \right)^2$$

$$\Delta p_t = 18 + 3 + \frac{1,293}{2} \times 2,49^2 \times \left(\frac{1}{0,1963^2} - \frac{1}{0,5040^2} \right) \times 0,10197 = 30$$

Het asvermogen:

$$P_{as} = \frac{2\pi \times n \times g}{60}$$

$$P_{as} = \frac{2\pi \times 1420 \times 9,81}{60} = 1,46 \text{ kW}$$

Het asrendement:

$$\eta = \frac{P_{uitgaand}}{P_{ingaand}}$$

$$\eta = \frac{\Delta p_t \times \dot{V}}{P_{as}}$$

$$\eta = \frac{30 \times 2,49}{1,46} = 51\%$$

2.3 Foutenberekening

Het meten van waarden kan niet volledig juist uitgevoerd worden. Met “niet juist” is hier geen synoniem voor onnauwkeurig of slordig. De factor onjuist hangt hier echter af van waarnemingsfouten, onnauwkeurigheden van een meettoestel, de omstandigheden waarin gemeten wordt, enz.. Het zijn dus factoren waarop de waarnemer weinig vat heeft. Met de foutenberekening willen we de betrouwbaarheid van onze meting aantonen. Omdat in een ventilatorkarakteristiek enkel het debiet en de totale opvoerdruk opgenomen worden, zullen wij enkel deze twee waarden onderzoeken op fouten.

2.3.1 Het debiet

De formule om het debiet te bepalen:

$$\dot{V} = \alpha \cdot \varepsilon \cdot A \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho}}$$

Aangezien enkel A en Δp gemeten waarden zijn, zullen enkel bij deze termen fouten optreden. De nauwkeurigheid van het toestel waarmee we het drukverschil gemeten hebben bedraagt 1% + 3 digits. (het aantal digits van een toestel = het aantal cijfers er worden weergegeven op de display van het toestel.) Met 3 digits wordt bedoeld 3×10^n waarin n afhankelijk is van de 10^{de} macht van het getal met de laagste 10^{de} - machtsfactor.

vb. 23,65 \Rightarrow Hierin heeft 2 een factor 10^1 , 3 een factor 10^0 , 6 een factor 10^{-1} , 5 een factor 10^{-2}
De laagste macht bij tien is dus $-2 \Rightarrow 3 \text{ digits} = 0,03$

De gemeten waarde van Δp bedraagt 241 Pa.

$$1\% \text{ van } 241 = \frac{241 \cdot 1\%}{100} = 2,41 \text{ Pa}$$

Bij de waarde 2,41 worden nu 3 digits geteld. Voor de waarde 241 zijn 3 digits gelijk aan :3

$$2,41 + 3 = 5,41 \text{ Pa}$$

De waarde van een absolute fout mag echter maar 1 beduidend cijfer hebben en moet steeds naar boventoe afgerond worden.

⇒ De Fout is gelijk aan 6 Pa

De fout bekomen bij A is afhankelijk van de gebruikte meter om de diameter van de blende te bepalen. De diameter is gemeten met een meter tot op 1 mm nauwkeurig. De regel zegt nu dat bij niet digitale meettoestellen de nauwkeurigheid moet gedeeld worden door twee. Hieruit volgt een fout van 0,5 mm = 0.0005 m maar de diameter is 0.500 m ⇒ de meetfout moet tot op drie cijfers na de komma afgerond worden. Hieruit volgt dat de meetfout gelijk is aan 0,001 m.

Berekenen Meetfout:

$$\dot{V} = \alpha \cdot \varepsilon \cdot A \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho}}$$

uit punt 2.2 volgt dat dit gelijk is aan :

$$\dot{V} = 0,658 \times 0,1963 \times \sqrt{\frac{2 \times 241}{1,293}} = 2,49 \text{ m}^3/\text{s}$$

Hierin moet nu eenmaal de fout op het oppervlakte en eenmaal op het drukverschil ingevoegd worden. Dan bekomen we de volgende uitkomsten

$$\dot{V} = 0,658 \times \frac{\pi d^2}{4} \times \sqrt{\frac{2 \times 241}{1,293}} = 2,49 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\dot{V} = 0,658 \times \frac{\pi(0,500 + 0,001)^2}{4} \times \sqrt{\frac{2 \times 241}{1,293}}$$

$$\Rightarrow \dot{V} = 2,51 \text{ m}^3/\text{s}$$

EN

$$\dot{V} = 0,658 \times 0,1963 \times \sqrt{\frac{2 \times (241 + 6)}{1,293}}$$

$$\Rightarrow \dot{V} = 2,52 \text{ m}^3/\text{s}$$

De fout wordt nu bekomen door de verschillen tussen de foutwaarden en de eerste waarde in volgende formule te stoppen:

$$\sqrt{(\text{verschil } 1)^2 + (\text{verschil } 2)^2}$$

$$\text{met verschil } 1 = 2,51 \text{ m}^3/\text{s} - 2,49 \text{ m}^3/\text{s} = 0,02 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{met verschil } 2 = 2,52 \text{ m}^3/\text{s} - 2,49 \text{ m}^3/\text{s} = 0,03 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\Rightarrow \text{De fout} = \sqrt{0,02^2 + 0,03^2} = 0,04 \text{ m}^3/\text{s}$$

Hieruit volgt dat de procentuele afwijking op $2,49 \text{ m}^3/\text{s}$

$$\text{gelijk is aan : } \frac{0,04 \times 100}{2,49} = 1,6\% \approx 2\%$$

De procentuele maximale fout die optreed bij het meten van het debiet is gelijk aan 2%. Hieruit volgt dat wij een zeer betrouwbare debietmeting hebben uitgevoerd afhankelijk van de gebruikte apparatuur.

2.3.2 De totale opvoerdruk

De formule voor de totale opvoerdruk is gelijk aan :

$$\Delta p = p_2 + p_1 + \frac{\rho}{2} \cdot \dot{V} \cdot \left(\frac{1}{A_2^2} - \frac{1}{A_1^2} \right) \cdot 0,10197 =$$

$$\text{Fout op } p_1 \text{ en } p_2 : 0,5 \text{ mm Wk} \Rightarrow 1 \text{ mm Wk (regels zie debiet)}$$

$$\text{Fout op } \dot{V} = 0,04 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Fout op } d_1 \text{ en } d_2 (A_1 \text{ en } A_2) = 0,001 \text{ mm (zie stuk over debiet)}$$

Om de totale fout te berekenen moet de berekening afzonderlijk uitgevoerd worden met een fout in verwerkt.

Uit deel 2.2 rekenen volgt dat :

$$\Delta p_t = 18 + 3 + \frac{1,293}{2} \times 2,49^2 \times \left(\frac{1}{0,1963^2} - \frac{1}{0,5040^2} \right) \times 0,10197 = 30,0 \text{ Pa}$$

Fout 1

$$\Delta p_t = 19 + 3 + \frac{1,293}{2} \times 2,49^2 \times \left(\frac{1}{0,1963^2} - \frac{1}{0,5040^2} \right) \times 0,10197 = 31,0 \text{ Pa}$$

Fout 2

$$\Delta p_t = 18 + 4 + \frac{1,293}{2} \times 2,49^2 \times \left(\frac{1}{0,1963^2} - \frac{1}{0,5040^2} \right) \times 0,10197 = 31 \text{ Pa}$$

Fout 3

$$\Delta p_t = 18 + 3 + \frac{1,293}{2} \times 2,53^2 \times \left(\frac{1}{0,1963^2} - \frac{1}{0,5040^2} \right) \times 0,10197 = 30,3 \text{ Pa}$$

Fout 4

$$\Delta p_t = 18 + 3 + \frac{1,293}{2} \times 2,49^2 \times \left(\frac{4^2}{(\pi \cdot 0,501^2)^2} - \frac{1}{0,5040^2} \right) \times 0,10197 = 29,9 \text{ Pa}$$

Fout 5

$$\Delta p_t = 18 + 3 + \frac{1,293}{2} \times 2,49^2 \times \left(\frac{1}{0,1963^2} - \frac{4^2}{(\pi \cdot 0,801^2)^2} \right) \times 0,10197 = 29,9 \text{ Pa}$$

De totale fout is gelijk aan de som van de kwadraten van de verschillen van de bekomen waarde en de foute waarde. Hieruit de wortel = de bekomen fout.

$$\sqrt{(\text{Verschil1})^2 + (\text{Verschil2})^2 + (\text{Verschil3})^2 + (\text{Verschil4})^2 + (\text{Verschil5})^2}$$

met verschil = 30 - bekomen foutwaarde = x Pa

$$\Rightarrow \sqrt{1^2 + 1^2 + 0,3^2 + 0,1^2 + 0,1^2} = 1,45 \text{ Pa} \Rightarrow 1 \text{ beduidend cijfer} = 2 \text{ Pa}$$

$$\Rightarrow \text{De procentuele fout} = \frac{2 \times 100}{30,0} = 6,67\% = 7\%$$

Aangezien de procentuele fout ook hier slechts een klein getal is (7 %) hebben we ook hier te maken met een tamelijk betrouwbare meting hoewel deze veel minder betrouwbaar is dan de debietmeting.

2.4 De meetresultaten

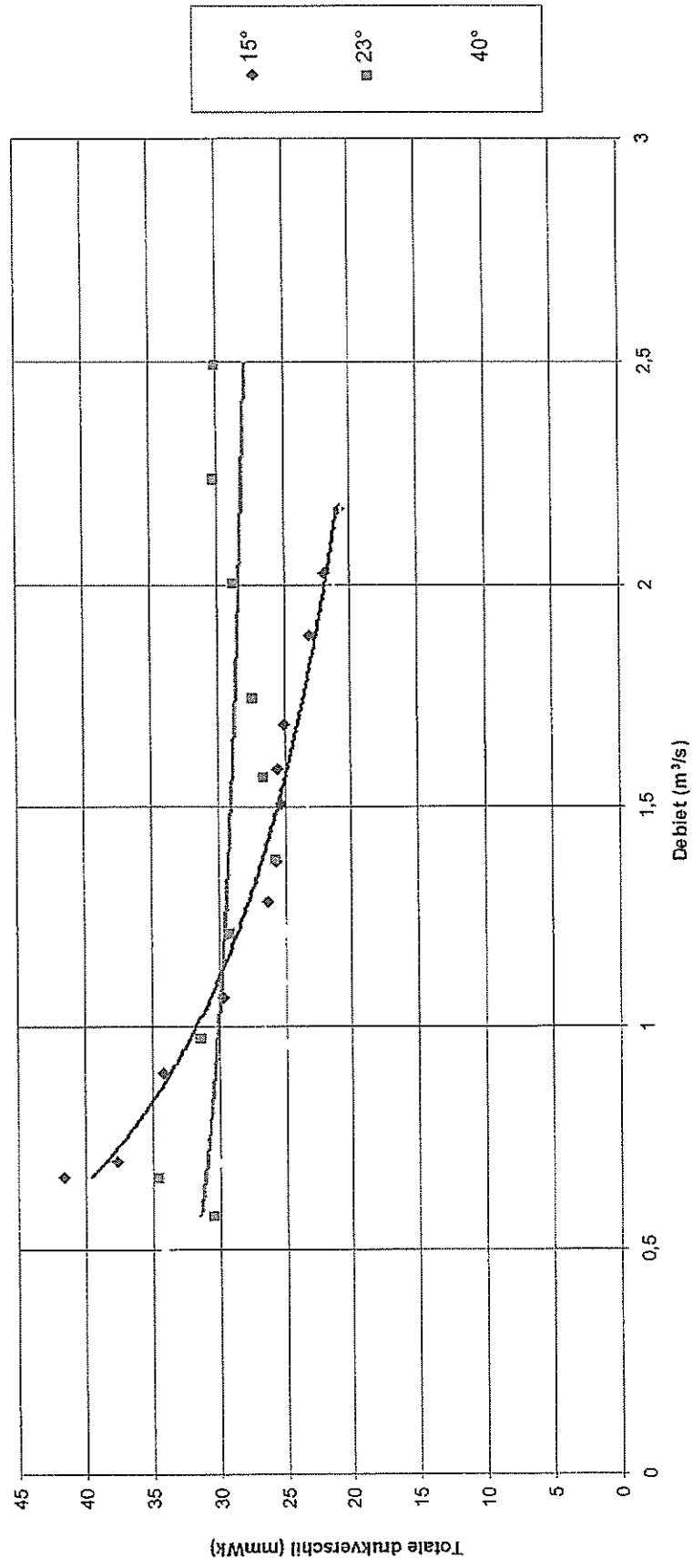
In de volgende pagina's vind je de meetresultaten terug. Op de eerst volgende pagina staan de meetresultaten voor een schoepenhoek van 15°. Verder komen de resultaten voor 23° en 40°.

Gegevens ventilator type		Algemene gegevens proefstand										Aandrijving			
Type kast: HSB 600		Type Turbine: Almeco		Testbuis \varnothing		Diafragma Din 1952		Meetoppervlakte		Motor					
hoek 15°		800 mm		\varnothing opening α		Aanzuig (F1) Wegsteek (F2)		500 mm 0,658		0,2826 m ² 0,5024 m ²		1,5 kW			
Meetgegevens															
Verklaring		SYMB.	Eenheid	Proef											
Barometerstand		b	mbar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Relatieve vochtigheid		φ	%	1007											
Temp. Aanzuig		t_1	°C	64											
Temp. Blende		t_3	°C	17,1	16,5	16,8	17,0	17,1	16,9	17,9	17,3	17,7	17,2	16,3	17,1
Stat. Druk aanzuig		p_1	mmWK	17,0	17,1	17,2	17,4	17,6	17,2	17,6	17,4	17,8	17,7	17,5	17,6
Stat. Druk wegsteek		p_2	mmWK	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Stat. Druk Blende		p_3	mmWK	13	15	17	20	21	21	22	23	27	32	36	40
Drukverschil Blende		delta p_b	Pa	7	9	10	11	12	12	13	14	17	19	22	25
Ventilatoretoerental		n	t/min	182	159	138	110	97	88	73	64	44	31	19	17
Motor Amperage gem. 3 ϕ		I	A	1420	1420	1420	1420	1420	1420	1420	1420	1420	1420	1420	1420
cos φ Net gem. 3 ϕ		cos φ	-	2,55	2,55	2,57	2,57	2,55	2,55	2,52	2,51	2,52	2,52	2,48	2,53
Motorvermogen gem. 3 ϕ		P	W	0,56	1,57	0,57	0,57	0,57	0,57	0,56	0,55	0,56	0,56	0,584	0,56
				627	638	648	642	636	637	620	611	621	612	591	626
Berekende waarden															
s.m. lucht=1,293 kg/m ³															
Debiet		v	m ³ /s	2,17	2,03	1,89	1,69	1,58	1,51	1,37	1,29	1,07	0,89	0,70	0,66
Totaal drukverschil		delta p_{tot}	mmWK	20,812	21,951	23,165	25,117	25,631	25,294	25,732	26,395	29,647	34,16	37,711	41,636
As vermogen		P_{as}	KW	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46
As rendement		η	%	30,93	30,49	29,98	29,02	27,81	26,14	24,22	23,26	21,66	20,95	18,11	18,91

Gegevens ventilator type		Algemene gegevens proefstand										Aandrijving	
Type kast: HSB 600		Type Turbine: Almeco hoek 23°		Testbuis Ø		Diafragma DIN 1952		Meetoppervlakte		Motor			
				Ø opening		α		Aanzuig (F1)		Wegsteek (F2)			
				500 mm		0,658		0,2826 m²		0,5024 m²		1,5 kW	
Meetgegevens													
Verklaring		SYMB.	Eenheid	Proef									
Barometerstand		b	mmbar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Relatieve vochtigheid		φ	%	994									
Temp. Aanzuig		t ₁	°C	67									
Temp. Blende		t ₃	°C	15,9	16	16,7	16,5	15,2	16,5	16,5	16,5	16	16
Stat. Druk aanzuig		p ₁	mmWK	15,9	16	16,2	16,3	16,8	16,6	16,7	16,7	16,7	16,4
Stat. Druk wegsteek		p ₂	mmWK	3	3	2	2	2	2	1	1	0	-1
Stat. Druk Blende		p ₃	mmWK	18	20	21	21	21	21	26	29	34	31
Drukverschil Blende		delta p _{bl}	Pa	12	14	15	16	16	17	19	22	25	30
Ventilatorentoerental		n	t/min	241	194	156	118	95	74	57	37	17	13
Motor Ampere gem. 3 φ		I	A	1420	1420	1420	1420	1420	1420	1420	1420	1420	1420
cos φ Net gem. 3 φ		cos φ	-	3,05	2,99	2,95	2,83	2,81	2,83	2,87	2,87	2,96	3,2
Motorvermogen gem. 3 φ		P	W	0,7	0,7	0,68	0,67	0,66	0,67	0,68	0,68	0,7	0,74
				940	924	882	831	806	830	850	852	912	1030
Berekende waarden													
				s.m. lucht=1,293 kg/m³									
Debiet		v	m³/s	2,49	2,24	2,01	1,75	1,57	1,38	1,21	0,98	0,66	0,58
Totaal drukverschil		delta p _{tot}	mmWK	30,03	30,27	28,85	27,42	26,56	25,77	29,14	31,39	34,64	30,49
As vermogen		P _{as}	kW	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46
As rendement		η	%	51,35	46,44	39,69	32,81	28,51	24,42	24,23	21,03	15,73	12,11

Gegevens ventilator type		Algemene gegevens proefstand														Aandrijving
Type kast: HSB 600	Type Turbine: Almeco hoek 40°	Testbuis Ø	Diafragma Din 1952		Meetoppervlakte		Aanzuig (F1)		Wegsteek (F2)						Motor 1,5 kW	
	800 mm	500 mm	0,658	0,2826 m²	0,5024 m²											
Meetegegevens																
Verklaring	SYMB.	Eenheid	Proef													
Barometerstand	b	mbar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Relatieve vochtigheid	φ	%	1007													
Temp. Aanzuig	t ₁	°C	17,4	17,3	17	16,6	17,2	16,9	16,6	16,9	16,8	16,5	16,9	17,4	17,5	17,9
Temp. Blende	t ₃	°C	17,6	17,5	17,6	17,9	17,3	17,6	17,5	17,8	17,7	17,8	17,8	17,9	17,3	17,9
Stat. Druk aanzuig	P ₁	mmWK	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
Stat. Druk wegsteek	P ₂	mmWK	15	15	14	15	17	17	18	19	20	22	23	27	31	32
Stat. Druk Blende	P ₃	mmWK	8	8	7	8	9	9	10	11	12	13	14	15	18	19
Drukverschil Blende	delta p _{bl}	Pa	205	170	152	140	117	99	81	70	57	47	36	26	19	10
Ventilatorentoerental	n	t/min	1420	1420	1420	1420	1420	1420	1420	1420	1420	1420	1420	1420	1420	1420
Motor Ampere gem. 3 Φ	I	A	3,69	3,54	3,49	3,55	3,67	3,7	3,75	3,78	3,8	3,86	3,95	4,06	4,3	4,34
cos φ Net gem. 3 Φ	cos φ	-	0,8	0,76	0,77	0,78	0,79	0,79	0,8	0,8	0,8	0,81	0,81	0,82	0,84	0,84
Motorvermogen gem. 3 Φ	P	kW	1,28	1,2	1,18	1,21	1,27	1,28	1,32	1,33	1,34	1,38	1,41	1,47	1,57	1,59
Berekende waarden																
s.m. lucht=1,293 kg/m³																
Debiet	v	m³/s	2,30	2,10	1,98	1,90	1,74	1,60	1,45	1,34	1,21	1,10	0,96	0,82	0,70	0,51
Totaal drukverschil	delta p _{tot}	mmWK	23,67	22,36	20,69	21,24	22,38	21,71	22,03	22,62	23,13	24,76	25,35	28,97	33,71	34,37
As vermogen	P _{as}	kW	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46
As rendement	η	%	37,33	32,12	28,10	27,68	26,66	23,79	21,84	20,85	19,24	18,70	16,75	16,27	16,19	11,97

2.3 De ventilator karakteristieken voor een blende van 500 mm



De ventilator karakteristiek

2.5 Bespreking van de karakteristiek voor de blende van 500 mm

Op de karakteristieken zijn de verschillende meetpunten getekend. Door kleine meetfouten liggen deze punten niet op een vloeiende lijn. In werkelijkheid is een ventilatorkarakteristiek wel een vloeiende lijn. Daarom mogen een gemiddelde curve van de verschillende punten nemen. De punten zullen daardoor niet op de lijn liggen. Verder laten we ook de uiterste punten vallen omdat deze in het grensgebied van de ventilator liggen. Deze punten laten de karakteristieken extreem dalen of stijgen.

Het is de bedoeling om bij een laag debiet een groot drukverschil te creëren. Anderzijds is het de bedoeling om bij een groot debiet nog steeds een zo groot mogelijk drukverschil over te houden. Dit komt er dus op neer dat de ventilatorkarakteristiek niet te snel mag dalen. Een tweede bedoeling is om een zo groot mogelijk bereik te hebben. Dit komt er op neer om dat je een laag debiet kunt werken maar eveneens bij een zo groot mogelijk debiet. Als laatste moeten we ervoor zorgen dat we ook een zo groot mogelijk rendement van de as hebben.

Op de figuur zien we dat de curve van 15° de grootste waarde heeft voor het drukverschil. Daarom zouden we kunnen denken dat dit de beste hoek is maar als we verder kijken zien we dat deze curve snel daalt en een niet zo'n groot bereik heeft.

De curve van 40° heeft een groter bereik maar komt niet in aanmerking omdat de opvoerdruk over de hele lijn veel te laag ligt.

De curve van 23° heeft een niet zo'n grote waarde voor het drukverschil als de curve van 15° . Maar we zien wel dat de curve van 23° veel minder snel daalt en op het einde een grotere opvoerdruk heeft. Deze curve heeft ook duidelijk het grootste bereik van de drie.

We kunnen nog een bewijs geven dat een schoepenhoek van 23° beter is dan een schoepenhoek van 15° . Als we kijken naar het rendement van de as zien we dat het rendement bij een schoepenhoek duidelijk hoger ligt bij de schoepenhoek van 23° .

3 Meting met een blende van 600 mm

3.1 Algemene gegevens

De volgende algemene gegevens zijn afhankelijk van het type blende. Ze zijn dus constant voor alle metingen waarbij een blende van 600 mm gebruikt werd.

Verklaring	Symb.	Eenheid	Waarde
s.m. lucht	-	kg/m ³	1,293
Testbuis diameter	∅	mm	800
Buitendiam. schoepen	d ₂	mm	465
<i>Diafragma DIN1952 :</i>			
Diameter	∅	mm	500
Doorstroomcoëfficiënt	α	/	0,721
Expansiegetal	ε	/	1
<i>Meetoppervlakte :</i>			
Aanzuig	F1	m ²	0,5024
Wegsteek	F2	m ²	0,2826
<i>Aandrijving :</i>			
Motorvermogen	-	kW	1,5
l mmWk	-	bar	0,10197
Gaskst droge lucht	R	kgm/kg K	29,27
Verzadigingsdruk H ₂ O	P _d	kg/m ²	,022
Aardversnelling	g	m/s ²	9,81

Onderaan het overzicht van de verschillende meetresultaten zijn er enkele waarden berekend. De afleiding van de formules zijn in het eerste deel van deze geïntegreerde proef aan bod gekomen. Hier geven we nog een kort overzicht van deze formules

Het debiet: $\dot{V} = \alpha \times \varepsilon \times A \times \sqrt{\frac{2 \times \Delta p}{\rho}}$ (zie Deel 1 punt 3.2)

De opvoerdruk: $\Delta p_t = p_2 + p_1 + \Delta p_d$ (zie Deel 1 punt 3.1)

$$\text{waarbij } \Delta p_d = \frac{\rho}{2} \times \left(\frac{\dot{V}}{A_2} \right)^2 - \frac{\rho}{2} \times \left(\frac{\dot{V}}{A_1} \right)^2$$

Het asvermogen: $P_{as} = \frac{2\pi \times n \times g}{60}$ (zie Deel 1 punt 7.1.2)

Het asrendement: $\eta = \frac{P_{uitgaand}}{P_{ingaaand}}$ (zie Deel 1 punt 7)

met $P_{uit} = \Delta p_t \times \dot{V}$ (zie Deel 1 punt 7.2)

en $P_{ingaaand} = \frac{2\pi \times n \times g}{60}$

3.2 De meetresultaten

In de volgende pagina's vind je de meetresultaten terug. Op de eerst volgende pagina staan de meetresultaten voor een schoepenhoek van 15° . Verderop komen de resultaten voor 23° en 40° .

Gegevens ventilator type		Algemene gegevens proefstand					Aandrijving	
Type kast: HSB 600	Type Turbine: Almeco hoek 15°	Testbuis Ø	Diafragma DIN 1952		Meetoppervlakte		Motor	
		800 mm	Ø opening	α	Aanzuig (F1)	Wegsteek(F2)	1,5 kW	
			600 mm	0,721	0,2826 m²	0,5024 m²		

Meetgegevens

Verklaring	SYMB.	Eenheid	Proef								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
Barometerstand	b	mbar	1007								
Relatieve vochtigheid	φ	%	64								
Temp. Aanzuig	t ₁	°C	17	16,8	16,9	17	17,1	17	16,9	16,7	16,9
Temp. Blende	t ₃	°C	16,9	17,1	17,3	17,4	17,3	17,5	17,4	17,4	17,6
Stat. Druk aanzuig	p ₁	mmWK	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Stat. Druk wegsteek	p ₂	mmWK	9	13	16	18	20	21	24	31	40
Stat. Druk Blende	p ₃	mmWK	4	7	8	101	11	12	14	19	25
Drukverschil Blende	delta p _{bl}	Pa	80	70	58	46	37	29	17	7	0
Ventilatorefficientie	η	t/min	1420	1420	1420	1420	1420	1420	1420	1420	1420
Motor Amperage gem. 3 φ	I	A	2,53	2,55	2,57	2,58	2,58	2,56	2,54	2,52	2,55
cos φ Nef gem. 3 φ	cos φ	-	0,54	0,55	0,56	0,56	0,56	0,56	0,54	0,55	0,56
Motorvermogen gem. 3 φ	P	W	607	626	640	647	644	637	615	610	629

Berekende waarden

s.m. lucht=1,293 kg/m³

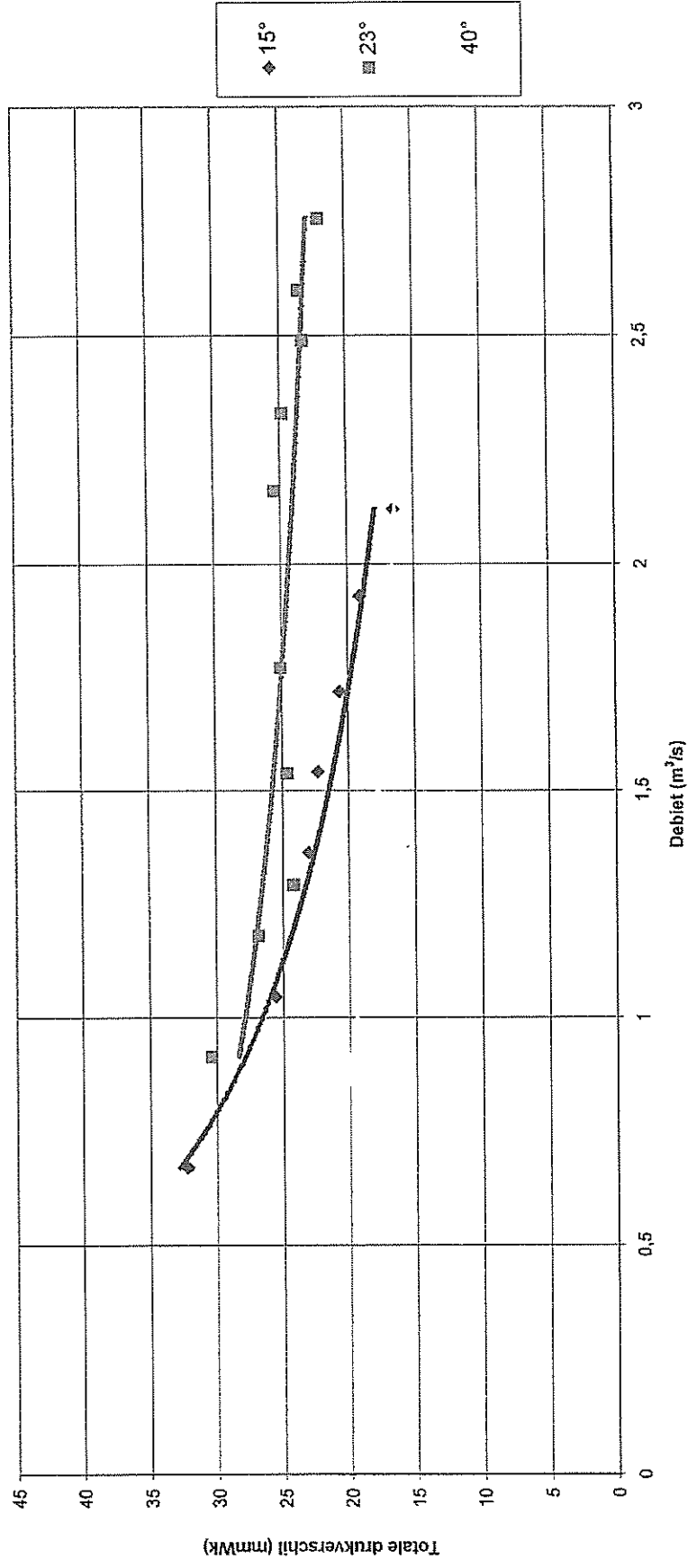
Debiet	v	m³/s	2,27	2,12	1,93	1,72	1,54	1,37	1,05	0,67	0,00
Totaal drukverschil	delta p _{tot}	mmWK	12,90	16,54	19,10	20,67	22,34	23,05	25,62	32,25	41,00
As vermogen	P _{as}	kW	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46
As rendement	η	%	20,06	24,05	25,29	24,36	23,62	21,58	18,36	14,83	0,00

Gegevens ventilator type		Algemene gegevens proefstand										Aandrijving			
Type kast: HSB 600		Type Turbine: Almeco hoek 23°		Testbuis Ø 800 mm		Diafragma Din 1952 Ø opening α 600 mm 0,721		Meetoppervlakte Aanzuig (F1) Wegsteek (F2) 0,2826 m² 0,5024 m²		Motor 1,5 kW					
Meetgegevens															
Verklaring		SYMB.	Eenheid	Proef											
Barometerstand		b	mbar	994											
Relatieve vochtigheid		φ	%	67											
Temp. Aanzuig		t ₁	°C	16,3	16,3	15,6	15,9	15	15,8	15,9	15,9	16,4	15,8	16	16
Temp. Blende		t ₃	°C	16,3	16,3	16,3	16,3	16,4	16,7	16,5	16,5	16,6	16,8	16,7	16,6
Stat. Druk aanzuig		P ₁	mmWK	4	4	4	3	3	3	2	2	2	2	2	0
Stat. Druk wegsteek		P ₂	mmWK	12	14	16	17	19	20	21	21	21	24	28	39
Stat. Druk Blende		P ₃	mmWK	6	8	9	11	13	14	15	15	15	18	21	30
Drukverschil Blende		delta P _{bl}	Pa	119	109	97	89	78	67	57	45	34	24	12	2
Ventilatoretoerental		n	l/min	1420	1420	1420	1420	1420	1420	1420	1420	1420	1420	1420	1420
Motor Ampere gem. 3 φ		I	A	2,98	2,99	3,02	3,04	3,03	3,01	2,07	2,91	2,8	2,83	2,89	3,2
cos φ Net gem. 3 φ		cos φ	-	0,7	0,7	0,71	0,71	0,71	0,7	0,69	0,67	0,66	0,67	0,68	0,74
Motorvermogen gem. 3 φ		P	W	908	913	934	933	940	928	901	856	805	830	860	1030
Berekende waarden												s.m. lucht=1,293 kg/m³			
Debiet		v	m³/s	2,77	2,65	2,50	2,39	2,24	2,08	1,91	1,70	1,48	1,24	0,88	0,36
Totaal drukverschil		delta P _{tot}	mmWK	20,32	21,95	23,52	23,23	24,83	25,43	25,07	24,63	24,23	26,87	30,44	39,07
As vermogen		P _{as}	kW	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46
As rendement		η	%	38,52	39,84	40,26	38,09	38,11	36,18	32,89	28,72	24,56	22,88	18,32	9,60

Gegevens ventilator type		Algemene gegevens proefstand										Aandrijving		
Type kast: HSB 600	Type Turbine: hoek 40°	Almecco		Testbuis Ø		Diafragma Din 1952		Meetoppervlakte		Motor				
		800 mm		Ø opening 600 mm		α 0,721		Aanzuig (F1) 0,2826 m ²		Wegsteek (F2) 0,5024 m ²		1,5 kW		
Meefgegevens														
Proef														
1001														
58														
Verklaring	SYMB.	Eenheid	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Barometerstand	b	mbar	22,0	21,9	21,8	22,3	22,4	22,4	22,2	22,0	22,4	22,2	22,5	22,8
Relatieve vochtigheid	φ	%	22,7	22,4	22,3	22,6	22,9	22,6	22,8	22,8	23,0	23,2	23,4	23,0
Temp. Aanzuig	t ₁	°C	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Temp. Blende	t ₃	°C	13	14	14	15	15	14	14	16	18	20	23	31
Stat. Druk aanzuig	P ₁	mmWK	6	7	7	8	8	8	8	10	12	13	15	17
Stat. Druk wegsteek	P ₂	mmWK	177	153	127	107	81	59	51	38	27	18	10	2
Stat. Druk Blende	P ₃	mmWK	1420	1420	1420	1420	1420	1420	1420	1420	1420	1420	1420	1420
Drukverschil Blende	delta P _{bl}	Pa	4,03	3,87	3,74	3,62	3,53	3,38	3,45	3,61	3,66	3,77	3,84	4,18
Ventilatorentoerental	n	t/min	0,81	0,79	0,78	0,77	0,76	0,75	0,75	0,77	0,78	0,78	0,79	0,82
Motor Amperage gem. 3 φ	I	A	1,49	1,42	1,34	1,3	1,24	1,16	1,18	1,27	1,3	1,33	1,4	1,57
cos φ Net gem. 3 φ	cos φ	-	s.m. lucht=1,293 kg/m ³											
Motorvermogen gem. 3 φ	P	W	Berekende waarden											
Debiet	v	m ³ /s	2,34	2,18	1,98	1,82	1,58	1,35	1,26	1,09	0,91	0,75	0,56	0,25
Totaal drukverschil	delta P _{tot}	mmWK	17,10	17,68	17,22	17,87	17,42	16,03	15,89	17,66	19,47	21,31	24,17	31,03
As vermogen	P _{as}	kW	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46
As rendement	η	%	27,45	26,39	23,42	22,31	18,92	14,86	13,70	13,14	12,21	10,91	9,23	5,30

De ventilator karakteristiek

3.3 De ventilator-karakteristieken voor een blende van 600 mm



De ventilatorkarakteristiek

3.4 Bespreking van de karakteristiek voor de blende van 600 mm

De bespreking is analoog met de bespreking van de karakteristiek voor de blende van 500 mm.

Ook bij deze tweede karakteristiek zien we dat de curve van 15° de grootste waarde voor het drukverschil heeft maar opnieuw snel daalt. De curve van 40° graden komt opnieuw niet ter sprake omdat de waarden voor het drukverschil te laag liggen. Deze curve heeft wel een groter bereik dan de curve van 15° .

De curve van 23° heeft opnieuw een groot bereik en heeft nog een grote waarde voor het drukverschil bij een zeer groot debiet. Maar ook bij een klein debiet is de waarde van de opvoerdruk groot. De waarde benadert zelfs de waarde van de curve van 15° .

Als we kijken naar het rendement van de as zien we dat we bij een schoepenhoek van 23° de grootste waarden terugvinden.

3.5 Meetfouten

In het hoofdstuk foutenberekening hebben we de procentuele fout die we gemaakt hebben reeds uitgerekend. Graag zouden wij hier in het kort nog op terugkomen. De meetfouten die we gemaakt hebben zijn vooral te wijten aan de afleesapparatuur. Het was moeilijk om een correcte waarde af te lezen van de waterkolommeters omdat de waardetekens dicht op elkaar stonden waardoor een correcte aflezing moeilijk was.

Verder hebben we niet alle metingen op dezelfde dag uitgevoerd waardoor ook de omgevingstemperatuur, de barometerstand en de relatieve vochtigheid van de lucht telkens anders waren.

De proefstand is correct opgebouwd volgens de DIN 24163 maar toch werden niet alle normen correct gevolgd. Hier leggen we vooral de nadruk op de vrije aanzuigzone en de vrije uitblaaszone. Normaal moet er een bepaalde afstand gerespecteerd worden wat in Typhoon niet mogelijk was.

Besluit

In deze geïntegreerde proef hebben we een onderwerp behandeld waarvan we vooraf niets wisten. Dit was al een hele uitdaging om er aan te beginnen.

De verschillende onderdelen van onze geïntegreerde proef hebben we opgesplitst. Dit leek ons het handigst omdat we dan niet te pas en te onpas elkaar moesten opzoeken.

Het zoeken van informatie in bibliotheken niets nuttig te vinden is over ventilatoren. We moesten ons behelpen met wat losse informatie uit de bibliotheek van de KHBO Oostende en van informatie die ons ter beschikking werd gesteld door Typhoon.

Om verschillende talen in onze GIP te verwerken hebben we ervoor gekozen om een voorstelling van Typhoon te maken in het Nederlands, Frans en het Engels. Duits hebben we gebruikt bij de vertaling van de Duitse Normen die niet in het Nederlands te verkrijgen zijn.

Voor we de eigenlijke metingen hebben uitgevoerd hebben we een theoretische beschouwing gemaakt. Dit leek zeer nuttig bij het vergelijken van de verschillende ventilatorkarakteristieken. Zo leerden we ook met wat we bezig waren en wat we juist opmaten.

De nabeschouwing van de karakteristieken hebben we samen met Els Pattyn gedaan omdat het moeilijk was om onze eigen theoretische beschouwingen op de werkelijke karakteristieken te gebruiken. Dit kwam vooral door het gebrek aan nuttige informatie hierover. Deze informatie was echter moeilijk te vinden.

Tijdens de nabeschouwing vonden we dat de hoeken best worden ingesteld op ongeveer 23° . We vonden ook dat een schoepenhoek van 15° beter is dan een schoepenhoek van 40° .

Uiteindelijk ontdekten we ook dat onze karakteristieken overeenkwamen met de karakteristieken die Typhoon reeds in hun bezit had. Hieruit konden zij ook het besluit nemen dat hun karakteristieken correct waren.

Tijdens de metingen hebben we een grote ervaring opgedaan tijdens de samenwerking met Typhoon. We leerden het bedrijf beter kennen en we maakten kennis met de mensen op de werkvloer. Daardoor beseffen we hoe belangrijk verdere studies zijn.

Bijlagen

1. Tabel uit de Duitse Industrie Norm 24163
2. Voorstelling van de proefstand volgens de Duitse Industrie Norm 24163
3. Foto's van de proefstand
4. Foto van de ventilator
5. Foto van de gelijkrichter
6. Foto van de blende
7. Foto van het debietmeetgedeelte
8. Foto's van de regelinrichting

Bibliografie

- Peter Parmentier, Eindwerk “Ontwerp proefstand voor industriële ventilatoren”, KHBO Oostende
- De Raedt, Technische berichten
- Dirk Verhaeghe, Cursus “Toegepaste Fysica 5^{de} jaar”, VTI Torhout
- M. Hongerlout, Cursus “Ventilatoren”, KHBO Oostende
- Deplancke Kurt en Gheysens Koen, Eindwerk “Toepassing van een windtunnel”, KHBO Oostende
- M. Hongerlout, Cursus “Basisvergelijking der stromende fluïda”, KHBO Oostende
- Mongres België, handboek “Persluchtautomatisatie”
- Ing. W. Demeyer, ing F. Snauwaert, ing. S. Vanhoof, handboek “Toegepaste mechanica”, Plantyn.
- Ing. A. Nouwen, handboeken “Pompen 1” en “pompen 2”, Educaboek
- www.dekobra.be

LOGBOEK

Wie	Datum	± Duur	Omschrijving
Lander	5/okt	30 min	Lezen en kopiëren van de algemene informatie over ventilatoren
Bert	19/okt	1h 15 min	Zoeken van informatie op internet (info gevonden op www.dekobra.be)
Lander	21/okt	1h 30 min	Maken van de tabel voor de meetgegevens
Bert	23/okt	1h	Zoeken van informatie op internet (mail verzonden naar De Raedt met vraag om info)
Bert	30/okt	45 min	Doornemen van de informatie gekregen van "De Raedt"
Samen	6/nov	4 h	Bezoek aan bibliotheek van KHBO Oostende. (Bruikbare cursussen en eindwerken gekopieerd)
Bert	7/nov	1h 15 min	Doornemen van informatie uit bibliotheek Oostende. Proberen van interpreteren van informatie uit de tekst "Stromende Fluïda"
Samen	8/nov	15 min	Uitleg gevraagd aan Dhr Verhaeghe over stromende fluïda. Tip gekregen om eerst Stationaire stromingen te bestuderen.
Lander	11/nov	1 h	Doornemen informatie van de bibliotheek van Oostende.
Samen	11/nov	3 h	Samenkomen om te bespreken wat we al hebben en hoe we verder zullen werken
Bert	13/nov	1 h	Opstellen van de tekst (klad) " De wet van Bernoulli "
Bert	14/nov	3 h	Leren werken met Windows vergelijkseditor + het uittypen van de opgestelde kladtekst "De wet van Bernoulli".
Lander	26/nov	1 h	Opstellen van de tekst "Relatieve vochtigheid"
Samen	27/nov	6 h	Metten in Typhoon. Uitleg gekregen van Mevr. Pattyn over hoe een meting verloopt. Meting 1 uitgevoerd
Lander	28/nov	2 h	Verwerken eerste meetresultaten
Lander	30/nov	2 h	Verder verwerken eerste meetresultaten
Bert	27/dec	1h 30 min	Opstellen van de tekst (klad) " De ventilator"
Samen	3/jan	4 h	Metten in Typhoon. Meting 2 en 3 uitgevoerd.
Bert	4/jan	1 h	Verder werken aan de tekst "De Ventilator "
Lander	5/jan	2 h	Verwerken meetresultaten van de tweede meting
Lander	6/jan	2 h	Verwerken meetresultaten van de derde meting

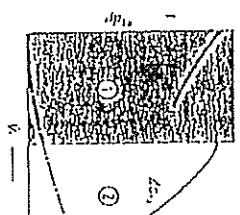
Wie	Datum	± Duur	Omschrijving
Bert	7/jan	2 h	Uitypen van de tekst " De ventilator "
Lander	8/jan	2 h	Maken van schetsen om de correcte schoepenhoek in te stellen.
Samen	9/jan	15 min	Bespreken met Dhr Verhaeghe van de gemaakte schetsen
Bert	10/jan	45 min	Verbeteren van de tekst " De ventilator "
Samen	13/jan	1 h	Maken van nette tekeningen in het tekenlokaal van het toestel om de hoeken in te stellen.
Bert	15/jan	1 h	Opzoeken van informatie + doornemen van de informatie over gelijkrichting van de uitlaat van ventilatoren
Bert	16/jan	2 h	Opstellen van de tekst (klad) "Gelijkrichting bij ventilatoren"
Bert	18/jan	2 h	Uitypen van de tekst "Gelijkrichting bij ventilatoren "
Samen	18/jan	3 h	Uitzoeken van de gebruikte formules en bespreken van wat we al hebben en hoe we we zullen verder werken
Bert	19/jan	45 min	Afwerken van de tekst "Gelijkrichting bij ventilatoren "
Lander	20/jan	1 h	Opstellen van de karakteristiek van de tweede meting.
Lander	21/jan	2 h	Verder verwerken van de derde meetresultaten + opstellen van de karakteristiek
Bert	21/jan	1h 30 min	Verder opzoeken van de gebruikte formules + opstellen van blad om in te dienen
Bert	29/jan	4 h	Opstellen van de voorstelling van Typhoon in drie talen + uitypen van de tekst
Lander	2/feb	20 min	Mail verzenden naar Typhoon met de vraag of we nog eens mogen langskomen
Bert	5/feb	45 min	Verbeteren van Engelstalige en Franstalige tekst van de voorstelling van Typhoon
Samen	19/feb	5h 30 min	Meten in Typhoon. Metingen 4 en 5 uitgevoerd.
Lander	20/feb	3 h	Verwerken van de meetresultaten van de meting 4 en 5 + opstellen van de karakteristieken
Bert	25/feb	2h 15 min	Volledig herwerken van de tekst " de ventilator " nadat deze verbeterd was door onze mentoren
Lander	3/mrt	3 h	Opstellen + typen van de tekst "de ventilatordruk" en de tekst "het debiet"
Lander	4/mrt	2 h	Bezoek bibliotheek KHBO Oostende voor het opzoeken van informatie in verband met laminaire en turbulente stromingen.
Bert	4/mrt	2 h	Duitse vertaling maken van stukken uit de Duitse Norm DIN 24163.

Wie	Datum	± Duur	Omschrijving
Bert	4/mrt	2 h	Opstellen van de tekst (klad + uittypen) "Proefstand volgens DIN 24163 "
Lander	5/mrt	4 h	Opmaken en uittypen van de tekst "Dynamische viscositeit-Getal van Sutherland"
Bert	5/mrt	3h 30 min	Opmaken en uittypen van de tekst "Bespreking van de proefstandonderdelen"
Lander	6/mrt	2 h	Opmaken en uittypen van de tekst "Getal van Reynold - expansiecoëfficiënt"
Lander	7/mrt	1 h	Opmaken en uittypen van de tekst "De leidingkarakteristiek"
Bert	7/mrt	1h 30 min	Vertalingen maken uit de Duitse norm DIN 24163 voor de bespreking van de proefstandonderdelen.
Bert	12/mrt	1h 30 min	Verder werken aan de tekst "Bespreking van de proefstandonderdelen"
Samen	3/apr	3 h 15 min	Maken en voorbereiden van de proefvoorstelling + maken van een powerpointpresentatie
Samen	4/apr	2h 30 min	Proefvoorstelling + overlopen van wat we al hebben en hoe we verder zullen werken.
Bert	7/apr	2h 15 min	Afwerken van de tekst "Bespreking van de proefstandonderdelen" + herlezen en verbeteren van de tekst.
Bert	10/apr	2 h	Opzoeken van informatie over driefasennetten in bibliotheek van het KHBO Oostende.
Lander	14/apr	4 h	Opmaken en uittypen van de tekst "Drukmeting m.b.v. een waterkolom" en de tekst " Drukverschilmeting"
Lander	15/apr	3h 30 min	Opmaken en uittypen van de tekst "Barometerstand" + inpassen tekst "relatieve vochtigheid" + opmaken en uittypen tekst " toerentalmeting"
Bert	16/apr	2 h	Opmaken van de tekst "Driefasenmotor"
Lander	17/apr	2 h	Opmaken en uittypen van de tekst "Rendement van een ventilator"
Bert	26/apr	1h 30 min	Afwerken van de test " Driefasen motoren"
Samen	30/apr	4h 30min	Uitvoeren van laatste meting in Typhoon + bespreking van de resultaten met Mevr. Pattyn
Lander	1/mei	2 h	Verwerken van de laatste meetresultaten
Samen	2/mei	8h 30 min	- Opmaken en uittypen van het woord vooraf, de inleiding, en besluit. - Opmaken en uittypen van de besluiten bij de opgemeten karakteristieken
Bert	14/mei	4 h	- Samenstellen en de opmaak verzorgen van alle onderdelen tot een volledige boek Nalezen en taalfouten (typfouten) verbeteren.

Wie	Datum	± Duur	Omschrijving
Samen	16/mei	1 h	Bespreken met meneer Verhaeghe van de verbetering van het werk. Bespreking van wat nog moet veranderen.
Samen	17/mei	5h 30 min	Eerste verbeteringen aanbrengen. Verder bespreken met de mentoren van de nodige verbeteringen die aangebracht moeten worden.
Samen	19/mei	45 min	Installeren van motor op de proefstand
Bert	24/mei	5h00	De formule van de dynamische drukstijging aanpassen bij het berekenen van de grafieken
Lander	26/mei	1h00	De grafieken aanpassen
Lander	27/mei	2h00	De excell-bestanden integreren in het worddocument
Lander	29/mei	2h00	Bijlagen integreren in de gip
Lander	29/mei	1h00	Opbouw van de proefstand
Samen	30/mei	3h00	Verbeteren van de taalfouten die mevrouw Deprez had aangeduid
Lander	30/mei	4h00	Laatste controle op fouten en de gip laten inbinden
Samen	31/mei	2h00	

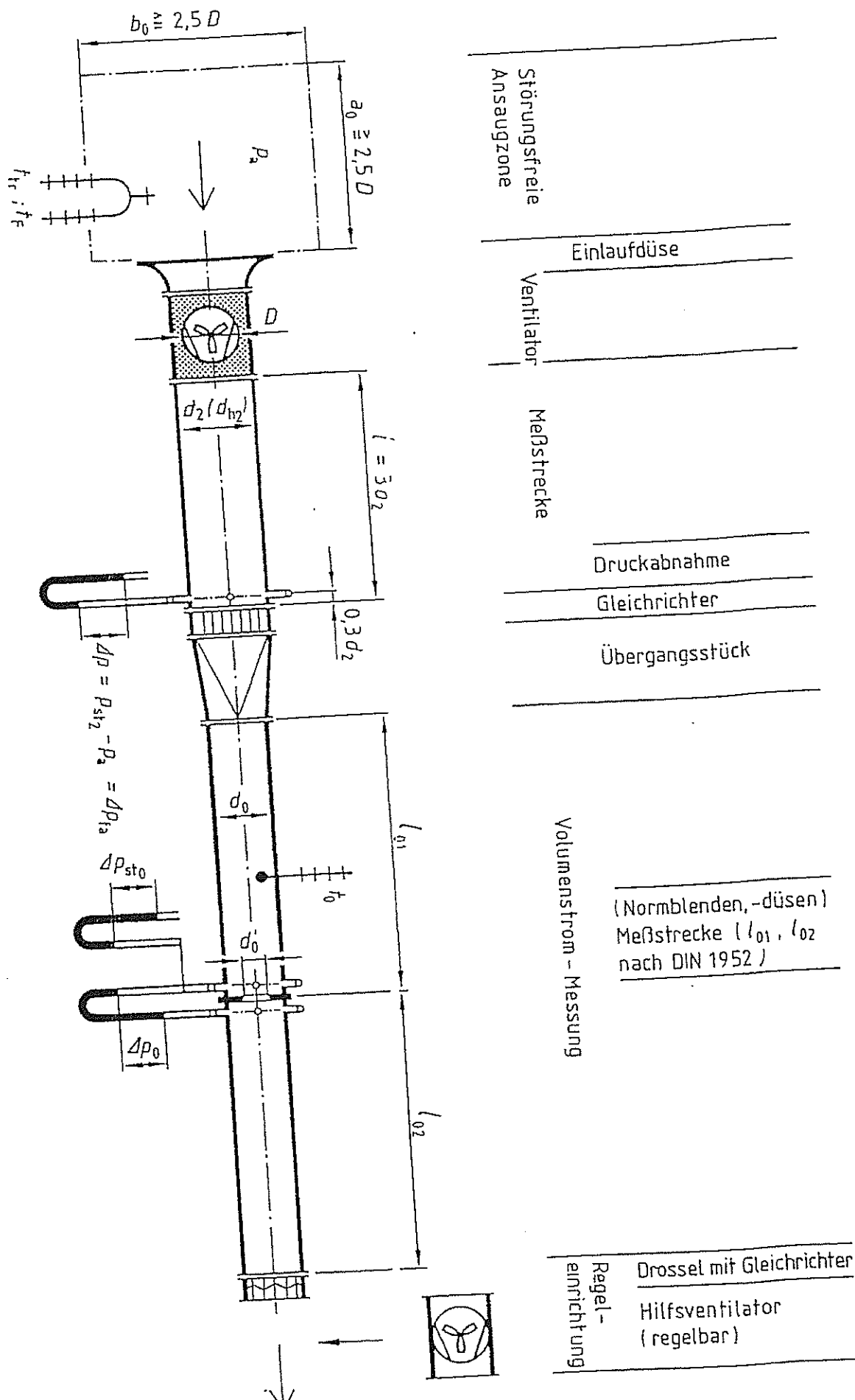
Bijlage 1: Tabel uit de Duitse Industrie Norm 24163

Bezeichnung	Prüfstandsarten				Bild	Seite Abchnitt 4	
	Rohrprüfstand		Kammerprüfstand				Seite Abchnitt 5
	druckseitig	saugseitig	druckseitig	saugseitig			
					freianströmend freianströmend saugseitig angeschlossen freianströmend freianströmend druckseitig angeschlossen saugseitig angeschlossen druckseitig angeschlossen	Prüfstandsanordnung 1 Prüfstandsanordnung 2	Seite Abchnitt 4 Seite Abchnitt 5

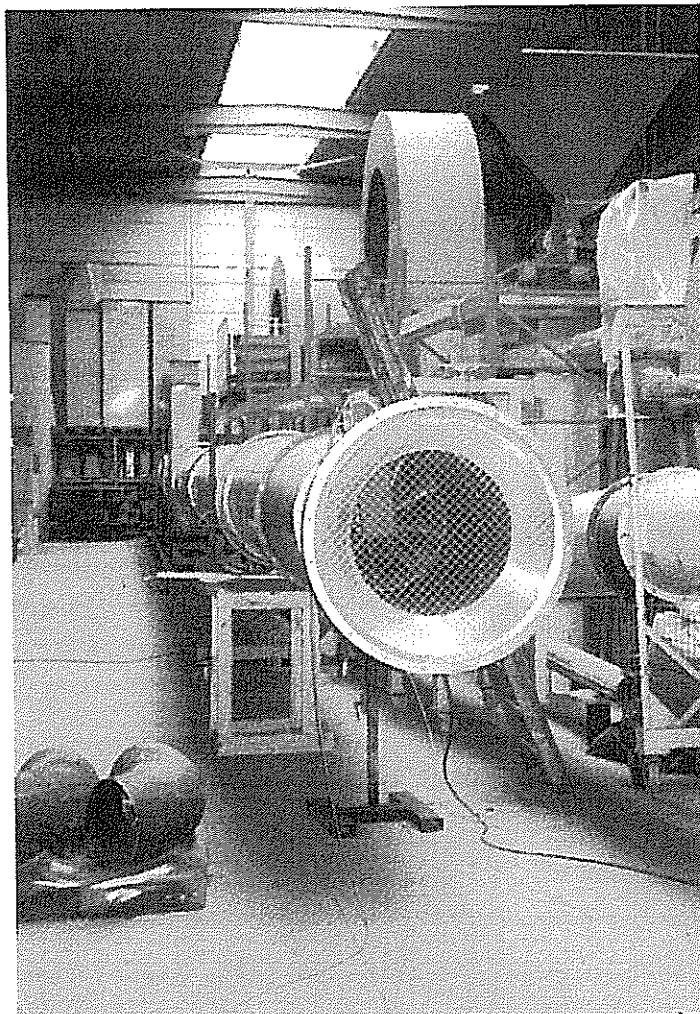
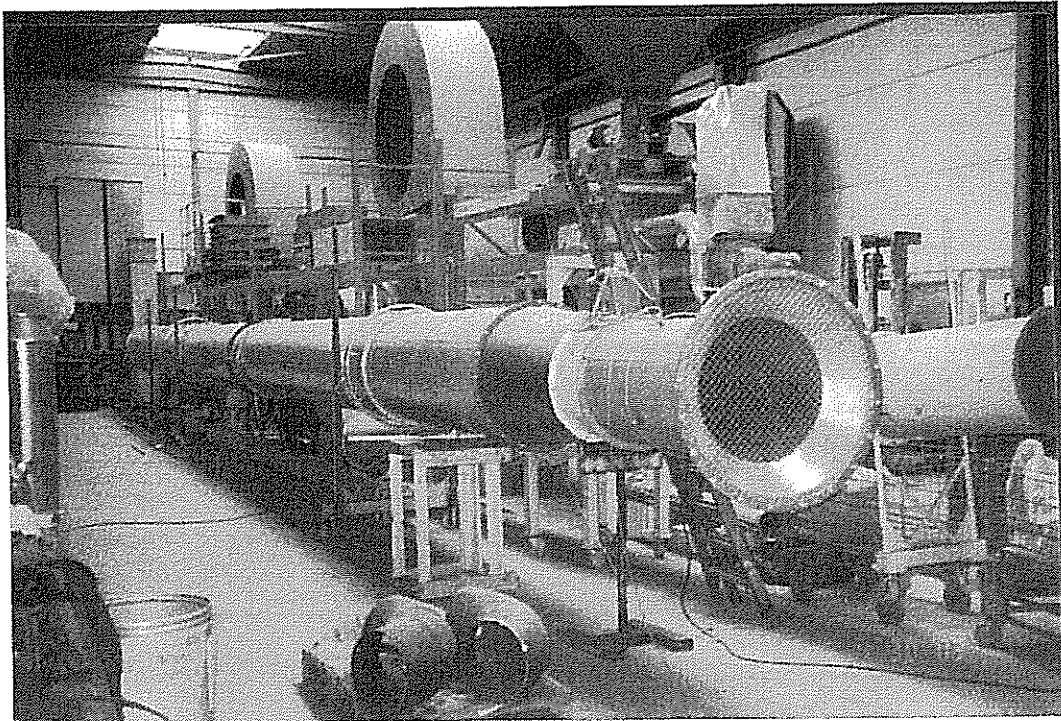


Bei saugseitiger
 Saugleistung
 ist die Saugleistung
 zu ermitteln.
 Bei druckseitiger
 Saugleistung
 ist die Saugleistung
 zu ermitteln.
 Ventilator-Kern
 Ventilator-Kennlinie
 Nur bei Einbau
 des Ventilators
 ist die Saugleistung
 zu ermitteln.

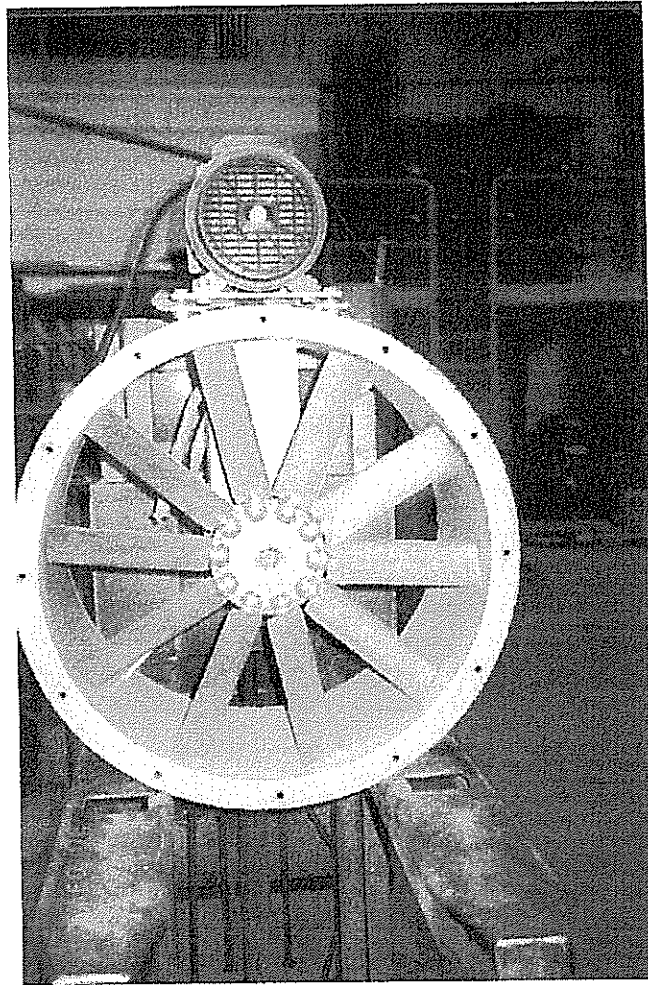
Betriebsbereiche
 der
 Ventilator-Kennlinie



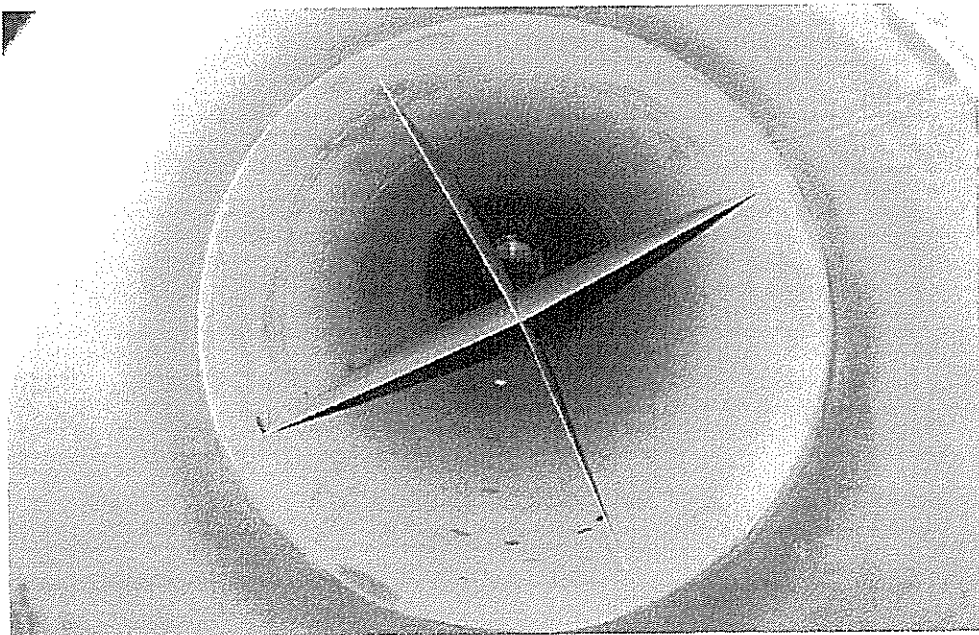
bijlage 3: foto's van de proefstand



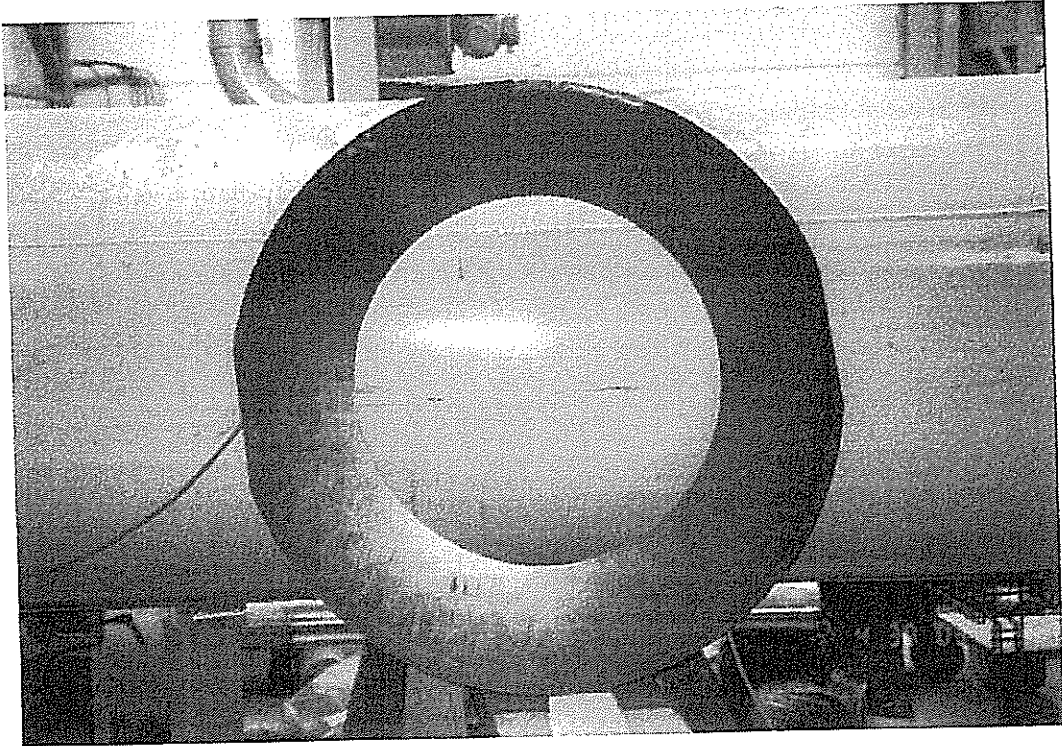
Bijlage 4: foto van de ventilator



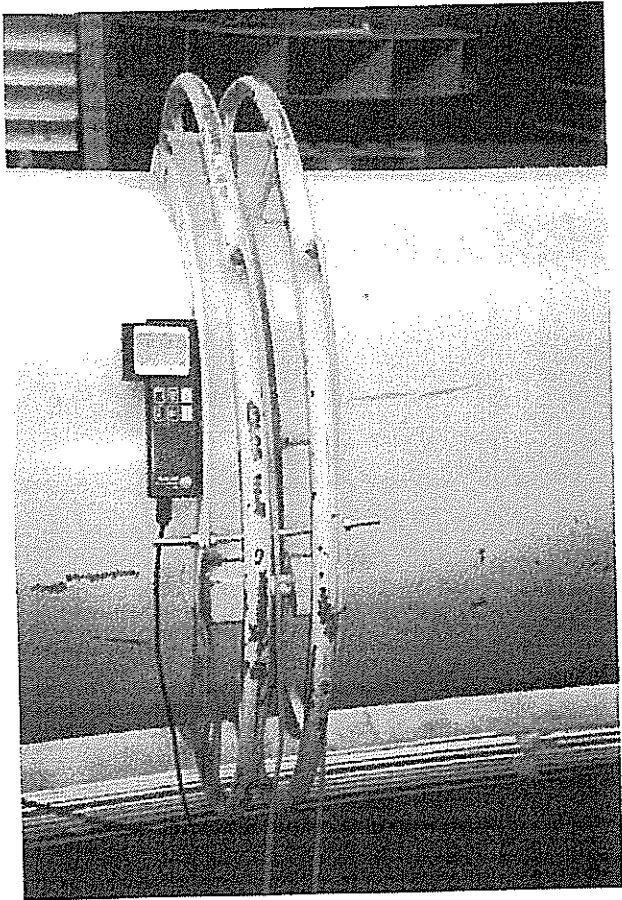
Bijlage 5: foto van de gelijkrichter



bijlage 6: foto van de blende



Bijlage 7: foto van het debietmeetgedeelte



bijlage 8: foto's van de regelinrichting

