



LEERUITKOMST 4 E/I, STROMINGSINSTALLATIE (T1.43)

P3 besturen en automatiseren

F. Post (S1134865)
fokke.post@windesheim.nl

Docent: Henk Spaan
Opleiding: Lerarenopleiding PIE
Niveau: Bachelor/ 2^e graads
21-01-2021

Inleiding:

Voor u ligt een verslag over leeruitkomst 4 I, stromingsinstallatie Gunt. Deze opdracht heb ik alleen gedaan omdat ik door ziekte helaas twee avonden moest missen. Voor deze opdracht heb ik op 07-01-2021 de proeven uitgevoerd zoals omschreven in de practicum handleiding van de Elo. Met de docent, de heer Henk Spaan, heb ik afgesproken dat ik een uitwerking moest maken van tenminste 3 metingen. Aangezien de metingen redelijk vlot gingen heb ik er nog een vierde meting aan toegevoegd. Dit waren metingen op de koperen leidingen van \varnothing Cu 28mm, \varnothing Cu 22 en \varnothing 28mm Fe. Dit was voor mij een leerzame proef en heeft mij enig inzicht gegeven over de flow en druk verschillen wat betreft verschillende diameters van leidingen. Wat het meest opviel was dat het materiaal voor de grootste weerstand zorgde bij de leidingen. In de bijlagen heb ik informatie toegevoegd welke ik, naast het beschikbare studiemateriaal in de Elo, heb geraadpleegd. de meetwaarden T1 t/m T8. Daarbij de opmerking dat de waarde van T8 afwijkend is aangezien deze thermometer defect is. Voor wat betreft de didactisering kan volstaan worden met 5 leerdoelen.

Fokke Post

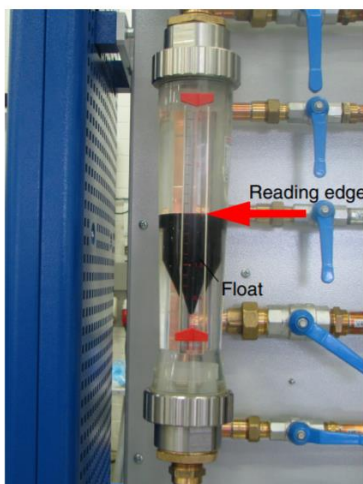
Inhoudsopgave:

Inleiding:.....	1
Inhoudsopgave:.....	2
Vaktechnische kennis.....	3
EERSTE METING:.....	3
MEETOPSTELLING DRUKVERLIESMETING CUØ28.....	4
Meetwaarden LEIDING CU Ø22 IDØ20.....	5
Meetwaarden drukverlies bij het gebruik van een knie of bocht.....	6
Meetwaarden LEIDING ø28mm staal verzinkt recht.....	7
Eindconclusie:.....	8
Vakdidactische opdrachten:.....	9
Koppeling examendossier:.....	9
Afronding:.....	10
Bijlage stromingsleer.....	11
Bijlage Laminaire en turbulente stroming.....	14
Van laminair naar turbulent:.....	15

Vaktechnische kennis

EERSTE METING:

Voordat de eerste meting gedaan kon worden heb ik eerst de handleiding gelezen. De stromingsinstallatie kon worden opgestart met de slangen konden worden aangesloten. Bij de peilstokken zit aan de bovenkant een witte en een zwarte draaiknop. De witte draaiknop is om te ontluchten en de zwarte knop is om te spoelen. Na een korte uitleg door de heer Henk Spaan ben ik aan de opdrachten begonnen. Hierbij heb ik eerst de handleiding vluchtig doorgenomen en waar nodig over gezet in het Nederlands vanuit de handleiding uit de Elo.



Figuur 1

Een speciaal gevormde vlotter beweegt vrij op en neer in een rechtopstaand kegelvormig glas, metaal of plastic meetbuis. Als er een stroom door de meetbuis van onder naar boven gaat past de vlotter zich aan zodat de krachten die erop inwerken (lift, gewicht en trekkracht) in evenwicht blijven.

Wanneer het debiet wordt gewijzigd, beweegt de vlotter binnen de meetbuis zodanig dat het krachtenevenwicht wordt hersteld. Empirische kalibratie zorgt ervoor dat elke verticale positie z uniek is toegewezen aan het bijbehorende debiet. Rotameters hebben een meetbereikbreedte van 1:10. De meetfout ligt tussen $\pm 1\%$ en $\pm 3\%$. Luchtbelletjes of vuildeeltjes op de vlotter kunnen invloed hebben op de meetnauwkeurigheid. Om ze weg te spoelen, wordt kort de maximale stroomsnelheid doorgelaten en het ontluchtungskraantje (1) open gedraaid.

Het Manometerpaneel



Het manometerpaneel kan worden gebruikt om acht relatieve drukken te meten die kunnen worden omgerekend in absolute druk door rekening te houden met de atmosferische luchtdruk, of acht verschillende drukken.

- Het meetbereik is 1000 mmWC
- De manometer bestaat uit acht glazen buisjes (4) voor een metalen mm-schaal (3).
- Alle glazen buizen zijn verbonden door een metalen blok met aansluitgat (3) aan de bovenzijde en hebben een gedeelde ontluchtungsklep (1) en een spoelklep (2) voor spoelen met water.
- Er kunnen acht differentiële drukken worden gemeten met de ontluchtungsklep gesloten en acht positief druk (naar de atmosfeer) met de ontluchtungsklep Open.
- De meetpunten zijn aangesloten op hetonderste uiteinde van het manometerpaneel (6) met snelkoppelingen voor slangen.
- Elk glazen capillair is afzonderlijk verbonden met een snelkoppeling door middel van het onderste zwart metalen blok.

Figuur 2

Omdat luchtbellens in de meetslangen onjuiste metingen kunnen veroorzaken (dit komt door de lage dichtheid van de lucht), moeten de slangen worden ontlucht.

Ik heb dus eerst de meetslangen aangesloten die nodig waren voor de meting naar het meetobject en naar het manometerpaneel in dezelfde volgorde.

Door de ontluchtungsklep te openen kon de lucht er uit geblazen worden en liepen de manometers vol water. Daarna heb ik het niveau laten zakken tot ongeveer 500 mm. Dit is het beginpunt van alle metingen. Zo kreeg ik een mooie standaard en kon ik alle metingen op een gelijkwaardige manier uitvoeren om zo ook een eerlijke meting te kunnen doen. Belangrijk bij het doen van metingen is dat er iedere keer dezelfde omstandigheden zijn om zo betrouwbare metingen te kunnen doen.

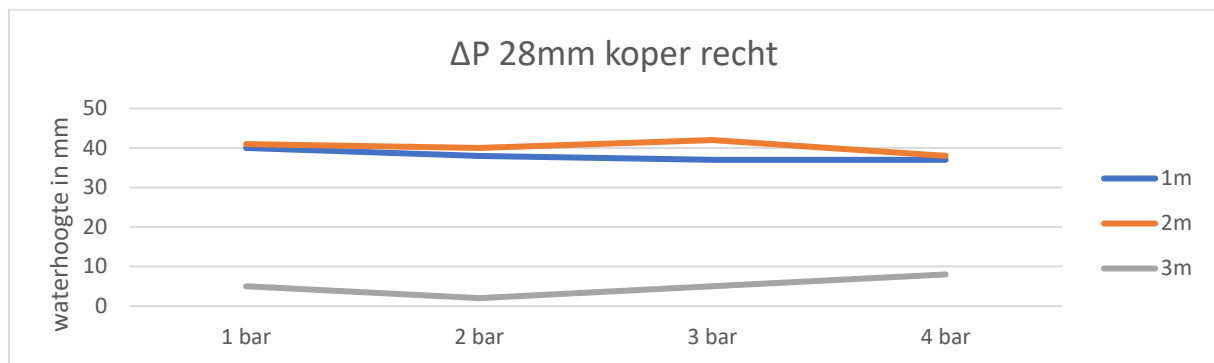
MEETOPSTELLING DRUKVERLIESMETING CUØ28

Meting aan leidingdeel 1 bij een flow rate van 3m³/h

Na het ontluchten en kalibreren van het manometerpaneel kon ik mijn eerste meting doen.

(bijlage als pdf: "vertaling pressure losses in pipes F.Oonk")

Als ik de meting bekijk van CUØ28 in figuur 1, valt op dat dit een hele vlakke en mooie meting is waarbij nauwelijks drukverschil is. Hieruit komt naar voren dat een koperen leiding van 28 mm buitendiameter en 24 mm binnendiameter een lage weerstand heeft. Met andere woorden het debiet en de flow is bij deze leiding hoog te noemen. Dit bevestigen de waarden van het kleine ΔP getal.



Tabel 1

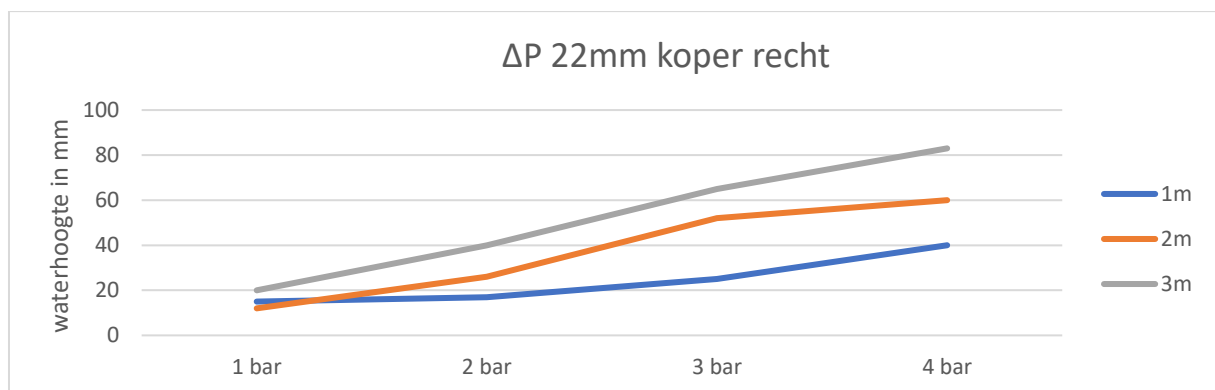
		1 Meter			2 meter			3 meter		
				ΔP			ΔP			ΔP
28mm	1 bar	510	470	40	511	470	41	495	490	5
Koper	2 bar	541	503	38	543	503	40	525	523	2
recht	3 bar	587	550	37	590	548	42	573	568	5
	4 bar	634	597	37	640	602	38	626	618	8

Meetwaarden LEIDING CU Ø22 IDØ20

Dezelfde meting heb ik herhaald met een leiding CUØ22. In tabel 2 zijn hiervan de meetgegevens weergegeven. Wat hier bij opvalt is dat bij een lage druk van 1 Bar de ΔP waarde onder de 20 zit. Wordt de druk omhoog gebracht dan valt op dat bij een lengte van 2 meter de ΔP afvlakt. Het debiet blijft hetzelfde. Ook als de druk verder omhoog gaat naar 4 bar.

Bij CUØ22 met een lengte van 3 meter is de ΔP lineair. Dat wil zeggen hoe langer de leiding wordt hoe groter het drukverschil in de leiding. Het debiet zal afnemen en de flow zal ook niet toenemen. Deze leiding zit aan zijn maximale flow als de druk hoger wordt dan 4 bar.

Het tweede wat opvalt is dat de meest gunstige flow bereikt wordt bij 1 bar. Dit is in waterleidingen en in de woningbouw tevens de druk zoals die uit de kraan komt. Als dus de druk zou worden opgevoerd door het waterleidingbedrijf zorgt dit er automatisch niet voor dat er een grotere flow wordt bereikt. Sterker nog, de weerstand neemt toe en het water gaat moeilijker door de leiding. De leiding zal sneller slijten en heftige trillingen veroorzaken bij enorme drukverschillen. Deze drukverschillen kunnen bijvoorbeeld optreden bij vaatwassers als de toevoerkraan bijvoorbeeld vol zit met kalk. Bij een lage druk van 1 bar zal dit drukverschil veel minder optreden. Meetwaarden CUØ22 Bij een flow hoger dan 3m³/h is de verstoring zelfs voelbaar. De leiding begint te trillen.



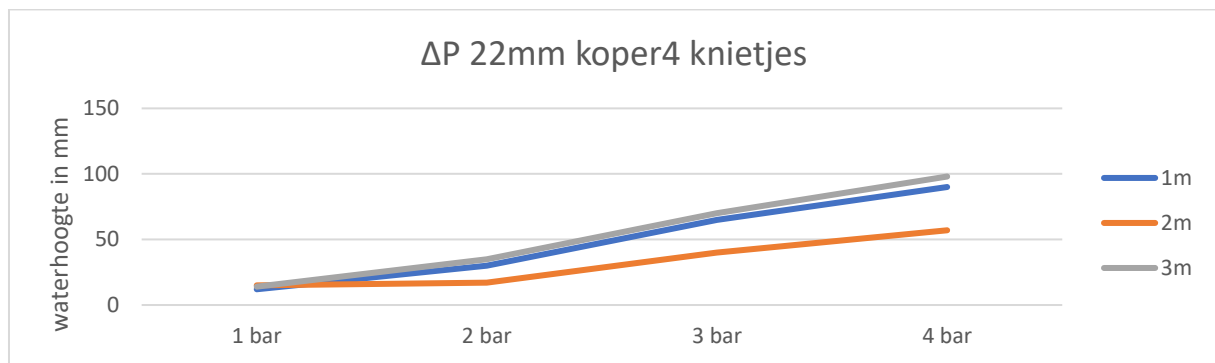
Tabel 2

				ΔP			ΔP			ΔP
22mm	1 bar	497	482	15	497	485	12	500	480	20
	2 bar	530	513	17	534	508	26	540	500	40
	3 bar	576	551	25	588	536	52	595	530	65
	4 bar	634	594	40	641	581	60	653	570	83

Meetwaarden drukverlies bij het gebruik van een knie of bocht

Bij deze meting is te zien welke verliezen er optreden bij het gebruik van een knie en een bocht in de leiding. In tabel 3 is te zien dat vanaf 2 bar de drukval steeds groter wordt naarmate de leiding langer wordt. Ook is na 1 meter de aanwezigheid van steeds weer de knietjes zichtbaar, immers het drukverschil klimt duidelijk steeds hoger. De conclusie hieruit is dat hoe meer bochten en knietjes er in een leiding wordt gebruikt hoe hoger de drukval zal zijn.

In tabel 3 is duidelijk te zien dat op de plaats van de bocht (p2-p3) er een lichte extra daling is in druk. Op de plaats van de knie (p4-p5) is de drukval echter significant. Ook is te zien hoe de drukverliezen bij een lage flow rate veel kleiner zijn dan bij een hoge. De kleine stijging aan het begin van de meting met een flow rate van 0,4m³/h komt waarschijnlijk door het, bij deze lage flow rate, in te stellen fijnregelventiel V10.



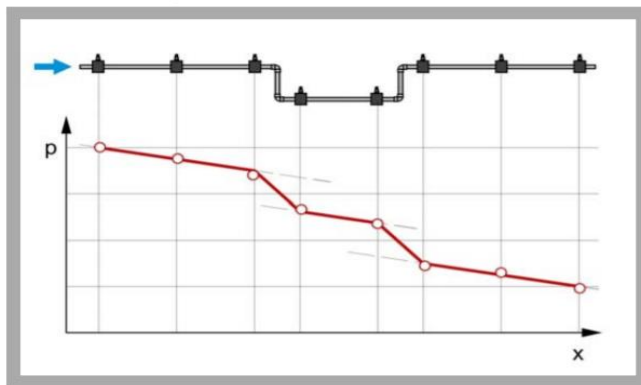
Tabel 3



Figuur 3

		1m			2m			3m		
		begin	eind	delta	begin	eind	delta	begin	eind	delta
4-knietjes	1 bar	450	438	12	440	425	15	440	426	14
	2 bar	490	460	30	470	453	17	477	442	35
	3 bar	540	475	65	525	485	40	536	466	70
	4 bar	597	507	90	580	523	57	597	499	98

In de brochure van de GUNT HM122 is al een tabel (figuur 4) opgenomen waarin de drukval zichtbaar is bij de opstelling van de koperen leiding met 4 knietjes. Iedere keer als er een knie of bocht gepasseerd moet worden door het water treed er een drukval op.

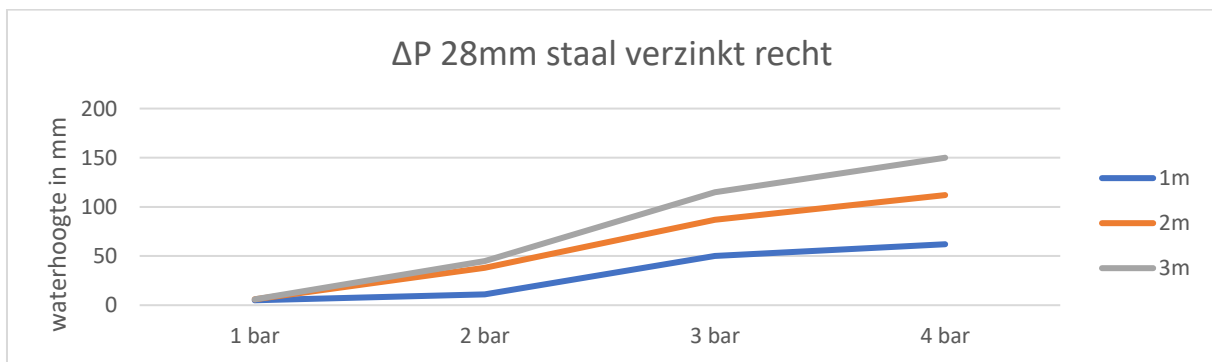


Pressure curve in the pipe section with 4 pipe bends (top); x position in the pipe section, p water pressure

Figuur 4

Meetwaarden LEIDING $\varnothing 28\text{mm}$ staal verzinkt recht

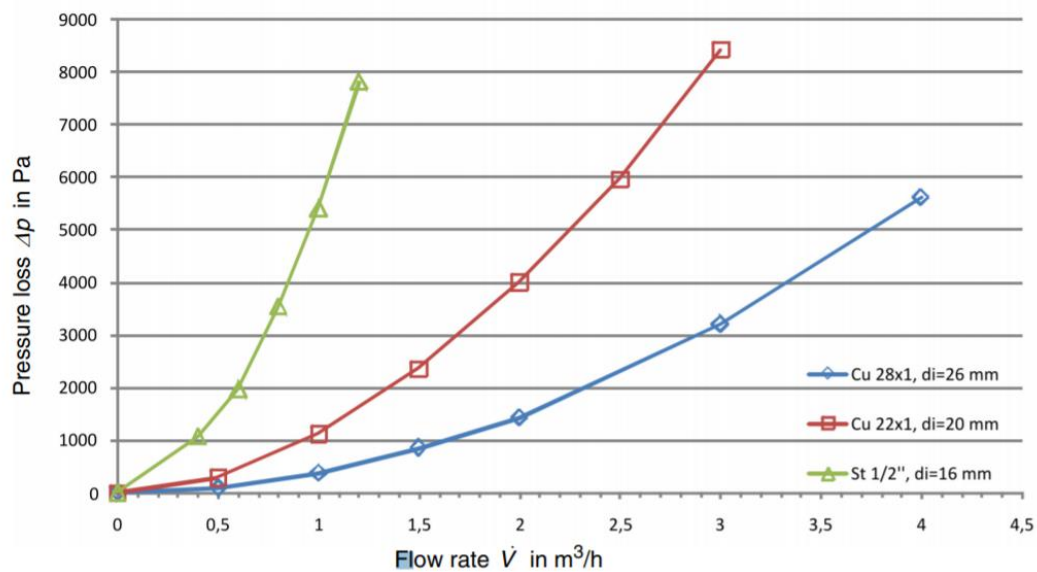
In tabel 4 kan ik opmaken dat bij een druk van 1 bar en een lengte van 1 meter het debiet constant is. Ook treed er geen drukval op getuige de blauwe, rechte, vlakke lijn. Wordt de druk echter omhoog gebracht dan zie ik ook een stijging in de ΔP naarmate de druk hoger wordt en de leiding langer. Op een korte leiding vlakt dit weer af maar blijft wel stijgen. Hieraan kan ik de conclusie verbinden dat een leiding met een ruwe binnenwand meer wrijving en daardoor dus turbulentie veroorzaakt. Dit zorgt voor een stijging van de weerstand en dus een grotere ΔP .



Tabel 4

gegalv	1 bar	437	432	5	438	432	6	488	482	6
28mm	2 bar	478	467	11	485	447	38	540	495	45
	3 bar	540	490	50	557	470	87	620	505	115
	4 bar	597	535	62	620	508	112	685	535	150

Eindconclusie:



In het diagram kan voor alle leidingen de kwadratische afhankelijkheid van de drukval van de stroomsnelheid duidelijk worden geïdentificeerd.

Vergelijking van de leidingen gemaakt van hetzelfde materiaal (koper) en met verschillende diameters ($d_i = 28\text{ mm}$ en $d_i = 22\text{ mm}$) illustreert de significante toename in de drukval als gevolg van een kleinere buisdoorsnede.

Naast de invloed van de buisdoorsnede is de oppervlakteruwheid van de buis weerspiegeld in een aanzienlijke verandering in de druk

laten vallen. De equivalente zandruwheid (wandruwheid k) beschreven in de literatuur voor het type verzinkte buis is op plaatsen onderhevig aan grote schommelingen.

Vakdidactische opdrachten:

LESONDERDEEL DRUKVERLIES

Omdat de stof bij dit onderdeel veel theorie bevat heb ik gemeend de opdracht naar VMBO leerlingen uitsluiten praktisch beredenerend te doen. Duur van de les maximaal 10 minuten en bij voorkeur voor Kader of bovengemiddelde leerlingen.

- LEERDOEL ALGEMEEN Een leerling leert hoe drukverlies in leidingen optreedt.
- LEERDOEL Een leerling weet door het zelf experimenteren met leidingen dat het langer maken van de leiding meer stromingsweerstand geeft.
- Een leerling kan door experimenteren beredenerend verklaren hoe het kan dat een leiding met een grotere diameter minder weerstand heeft dan een leiding met een relatief kleine diameter.
- Een leerling kan uitleggen dat het soort materiaal van een leiding invloed heeft op de stromingsweerstand.

Koppeling examendossier:

Profielvak: Produceren, installeren en energie	BB	KB	GL
Module 4: installeren en monteren (v2020)			
Taak: o een sanitaire installatie aanleggen o een elektrische huisinstallatie aanleggen			
P/PIE/4.1			
Deeltaak: een sanitaire installatie aanleggen aan de hand van een werktekening.			
De kandidaat kan:			
1. werktekeningen en schema's lezen en interpreteren	x	x	
2. gangbare installatiebuis bewerken	x	x	
3. gangbare installatiebuis, inclusief de appendages en kranen verbinden en aanleggen	x	x	
4. sanitaire kunststof leidingen verbinden en aanleggen	x	x	
5. de buisinstallatie beproeven op werking en dichtheid	x	x	
6. beugelmaterialen toepassen	x	x	
7. sanitaire toestellen herkennen en aansluiten	x	x	
8. sanitaire appendages toepassen	x	x	
P/PIE/4.2			
Deeltaak:			

(nieuwvmbo.nl)

Afronding:

Opzet lessenserie.

Om een proces goed te laten verlopen is veel technisch vernuft nodig. Het begint met een team van specialisten die een ontwerp maakt, zo'n multidisciplinair team ontwerpt vanuit de Mechatronica visie. Technisch gezien maken zij keuzes voor de toegepaste sensoren aan de input, de processor voor de verwerking van de signalen en de actuatoren aan de output. In deze projecttaak gaan we ons verdiepen in de verschillende toegepaste sensoren, processoren en actuatoren.

Studietaken: De taken zijn bestemd om de leerlingen kennis te laten maken met onderdelen van de stromingsleer die in de praktijk van essentieel belang zijn en waar meer diepgaande kennis van nodig is. Een bijkomend leereffect is dat de leerling leert omgaan met de mogelijkheden van internet en de beschikbare informatie van bedrijven.

(Schema)Tekenen: In alle voorkomende vakgebieden binnen stromingsleer en installatietechniek is schematekenen en het lezen van schema's noodzakelijk. De basis van het (schema)tekenen en schema wordt behandeld en zal mogelijkheden geven om zich verder op dit vakgebied te gaan bekwamen.

Practicum: Het practicum dat aangeboden wordt zal worden ingevuld door de lesgevende docent van de school waar de leerling de opleiding volgt. Tijdens het practicum treedt de docent op als mentor coach, waarbij de leerling terecht kan met vragen voor advies. De rol van de mentor/coach is de leerling te observeren en waar te nemen hoe die verworven competenties toont en die nieuwe competenties aanleert.

Specifieke competenties in deze lessenserie zijn:

- Samenwerken
- Communiceren
- Functioneren
- Ontwikkelen van competenties
- Resultaten van toetsen en Beroeps Praktijk Vorming (BPV)
- Inzicht in eigen ontwikkeling
- Kwaliteitsgerichtheid
- Aanpassingsvermogen
- Initiatief
- Resultaatgerichtheid

(techniekvenlo.nl)

Bijlage stromingsleer

De belangrijkste vergelijking in de stromingsleer is de continuïteitsvergelijking. Deze is de vertaling van de wet van behoud van massa: wat er aan massa een leiding instroomt moet er ook weer uitstromen. Bij gelijke temperatuur houdt dat tevens in dat het vloeistofvolume wat per seconde de buis instroomt gelijk is aan het volume dat er per seconde weer uitstroomt. Stel dat vloeistof met een snelheid van v_1 m/s een buis met een doorsnede van A_1 m² instroomt. Dat betekent een volume-instroom per seconde van $A_1 v_1$ m³. Als dezelfde vloeistof met een snelheid van v_2 m/s de buis met een andere doorsnede van A_2 m² verlaat betekent dat een volume-uitstroom per seconde van $A_2 v_2$ m³. Gelijkstellen van in- en uitstroomvolume leidt tot de volgende vergelijking:
Continuïteitsvergelijking: $A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2$

De hoeveelheid vloeistof die per tijdseenheid door een leiding stroomt noemen we het debiet. Als we de hoeveelheid uitdrukken in m³ spreken we van het volumedebiet q_v . Als we de hoeveelheid uitdrukken in kg spreken we van het massadebiet q_M .

Viscositeit is de 'stroperigheid' van een vloeistof of van een gas. Zo is water een voorbeeld van een vloeistof met een lage viscositeit, honing een voorbeeld van een vloeistof met een hoge viscositeit. De viscositeit van een vloeistof is sterk afhankelijk van de temperatuur. We onderscheiden de kinematische viscositeit, uitgedrukt in m²/s en de dynamische viscositeit, uitgedrukt in Pa s.

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}$$

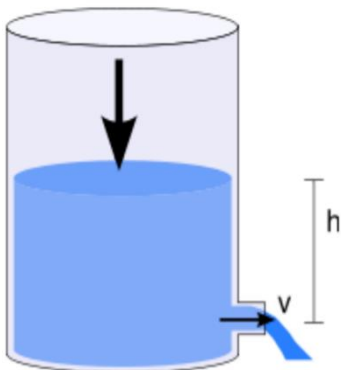
Het verband tussen die twee grootheden luidt:

De Poiseuille (PI) is een oude eenheid van dynamische viscositeit, 1 PI = 1 Pa s Een oude cgs-eenheid (centimeter-gram-seconde) voor dynamische viscositeit is de Poise (P), 1 P = 0,1 Pa.s. Meer gebruikelijk is de centiPoise (1 cP = 1 mPa.s). Een oude eenheid voor kinematische viscositeit is de Stokes (1 St = 1 cm²/s) of de centiStokes (1 cSt = 1 mm²/s)

Het Getal van Reynolds Re is een dimensieloos getal uit de stromingsleer. De grootte bepaalt of een stroming laminair is of turbulent.

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot d}{\eta} \quad \text{of} \quad Re = \frac{v \cdot d}{\nu}$$

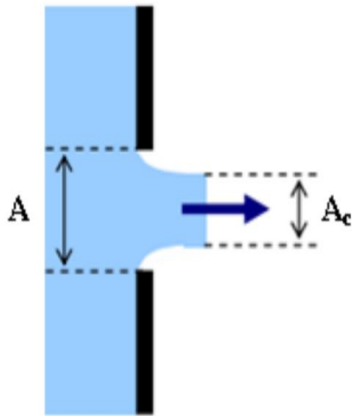
Stroming in buizen is bijvoorbeeld laminair als $Re < 2300$ en turbulent wanneer $Re > 3500$. Tussen deze grenzen hangt het van verschillende factoren af, zoals bijvoorbeeld de wandruwheid, of de stroming laminair of turbulent is,



Wanneer in een reservoir onder invloed van de zwaartekracht vloeistof uit een lager gelegen opening stroomt, dan is volgens de wet van Torricelli de uitstroomsnelheid waarmee de vloeistof uit die opening stroomt, evenredig met de wortel uit de vloeistofhoogte.

Wet van Torricelli: $v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \approx \sqrt{20 \cdot h}$

Merk op dat deze snelheid niet afhankelijk is van de grootte van de opening!



Wat wel afhankelijk is van de grootte en vorm van de uitstroomopening is het debiet .

Voor het volumedebiet q_v geldt:

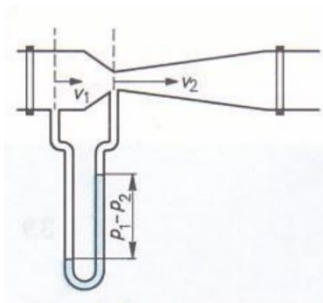
$$q_v = A_c \cdot v \Rightarrow q_v = A \cdot C \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

C is daarbij de contractiecoëfficiënt. Deze heeft een waarde tussen 0,5 en 1 en is afhankelijk van de vorm van de opening en de dikte van de wand.

De Wet van Bernoulli beschrijft het stromingsgedrag van vloeistoffen en gassen, en verbindt de drukveranderingen aan hoogte- en snelheidsveranderingen.

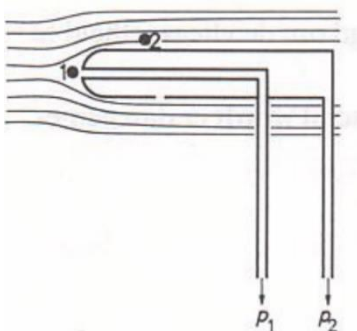
Wet van Bernoulli: $p_1 + \rho \cdot g \cdot h_1 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^2 = p_2 + \rho \cdot g \cdot h_2 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_2^2$

Een methode om een debiet te bepalen is de verschildruk flowmeting (dP-meting). In een leiding wordt dan een vernauwing geplaatst. Het gemeten drukverschil over deze vernauwing is evenredig met het debiet. Er zijn verschillende flowelementen. Het meest bekend is de meetplaat. Deze bestaat uit een vlakke metalen plaat met een rond gat in het midden, die doorgaans tussen twee flenzen geklemd wordt. Er worden twee druknamepunten geplaatst vóór en achter de meetplaat. Het gemeten drukverschil is kwadratisch met de flow. Zie ook www.flowmeters.nl



Een venturimeter is een instrument voor het meten van de hoeveelheid gas of vloeistof die door een buis stroomt. Hij bestaat uit een in de pijpleiding aangebrachte vernauwing met een daarbij behorend meetinstrument voor het hierdoor veroorzaakte drukverval. De bijbehorende formule luidt:

Venturimeter: $\Delta p = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (v_2^2 - v_1^2)$



De Pitotbuis is een instrument voor het meten van de druk in een gas- of vloeistofstroom. Uit het drukverschil kan de snelheid van de stroom berekend worden.

Pitot-buis: $\Delta p = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2$

Bij het transport van vloeistoffen en gassen door leidingen ontstaan, door turbulentie en wrijving langs de wand, energieverliezen die gecompenseerd moeten worden door een groter pomp- of compressievermogen. Bij transport over grote afstanden kunnen deze verliezen aanzienlijk zijn. Verschillende methoden ter verlaging van de stromingsweerstand zijn onder andere succesvol toegepast in de luchtvaart-, scheepvaart-, olie- en gasindustrie. Enkele van deze methoden bieden ook perspectieven voor toepassing in warmtedistributieleidingen zoals het toevoegen van additieven, het aanbrengen van een gladde coating aan de binnenzijde van de buis, het toepassen van profielen en het aanbrengen van schoepen in de bochten. Deze methoden kunnen een vermindering van de stromingsweerstand opleveren van 10-75%.

Voor de berekening van het wrijvingsverlies p_w in een ronde leiding geldt de Darcy-formule:

$$p_w = f \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2$$

Daarbij is f de Darcy frictiefactor die van de soort leiding en de vloeistof afhangt, l is de lengte van de leiding, d de diameter, ρ de soortelijke massa en v de snelheid van de vloeistof.

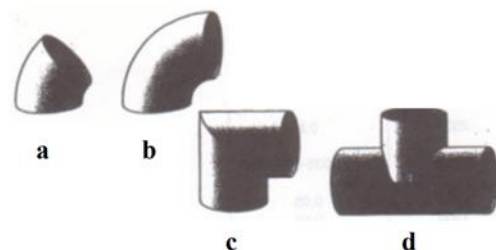
De volgende tabel geeft een aantal waarden voor f :

Leidingmateriaal en vloeistof	f
koperen buis (10 mm \emptyset) met water	0,027
koperen buis (30 mm \emptyset) met water	0,020
stalen buis (10 mm \emptyset) met water	0,029
stalen buis (30 mm \emptyset) met water	0,022
plastic slang (75 mm \emptyset) met water	0,012
rubberen slang (75 mm \emptyset) met water	0,021

Appendages zoals bochten en afsluiters veroorzaken natuurlijk ook wrijvingsverliezen. Een methode om deze te berekenen is het meetellen van een equivalente lengte:

Appendage	Equivalente lengte
bocht van 45° (a)	15 x diameter
bocht van 90° (b)	40 x diameter
haakse bocht (c)	60 x diameter
T-stuk (d)	60 x diameter
schuifafsluiter (1/4 open)	800 x diameter
schuifafsluiter (1/2 open)	200 x diameter
schuifafsluiter (3/4 open)	40 x diameter

Voorbeeld: twee koperen buizen met elk een lengte van 5 m en een diameter van 30 mm zijn verbonden door een bocht van 90°. Door de buizen stroomt water met een snelheid van 2 m/s. Bereken de verliesdruk p_w .



Oplossing:

De bocht betekent een equivalente lengte van $40 \times 30 \text{ mm} = 1200 \text{ mm} = 1,2 \text{ m}$. Bij de buislengte van in totaal $2 \times 5 = 10 \text{ m}$ moeten we dus $1,2 \text{ m}$ optellen zodat: $l = 10 + 1,2 = 11,2 \text{ m}$. Invulling van de formule voor p_w levert vervolgens:

$$p_w = 0,02 \times \frac{11,2}{30 \cdot 10^{-3}} \times \frac{1}{2} \times 1000 \times 2^2 = 14933 \text{ Pa}$$

Bijlage Laminaire en turbulente stroming

Reynolds getal

Re is dimensieloos en is een getal dat gebruikt wordt om het flowgedrag in een ronde (of in een andere vorm) leidingen te beschrijven. Re wordt berekend met de formule:

$$Re = \rho \cdot v \cdot D / \mu$$

ρ = de dichtheid in kg/m^3

v = de snelheid in m/s

D = de inwendige diameter van de leiding in m

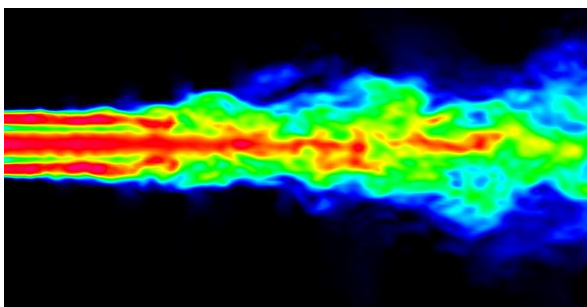
μ = de dynamische viscositeit uitgedrukt in $\text{kg}/[\text{m}\cdot\text{s}]$

Hoe hoger de dichtheid, snelheid en diameter van de leiding, en hoe lager de viscositeit, des te hoger is Re.

Het Reynolds getal is van belang bij de selectie van flowmeters. En voor de prestatie van een gekozen instrument. Met name insteekflowmeters, maar bijvoorbeeld ook opklembare ultrasone flowmeters zijn "Reynoldsgevoelig". Vortex flowmeters functioneren niet of zeer slecht bij lage Re. Is Re lager dan 5.000 is een vortexmeter geen optie, tussen $5.000 < Re < 10.000$ kan een correctie het meetresultaat verbeteren. Voor de meeste meettechnieken is het wenselijk even naar het Re-getal te kijken!

(<https://www.flowmeters.nl/>)

Iedereen die een kraan open doet kan zien dat de waterstraal eerst glad is: laminaire stroming. Als je de kraan steeds verder open draait wordt de straal op een gegeven moment onregelmatig door de turbulentie die ontstaat in de waterleiding. Die turbulentie zorgt ervoor dat de weerstand hoger wordt: het kost meer kracht om de vloeistof door de buis te pompen. Industriële toepassingen zijn gebaat bij een zo laag mogelijke weerstand, bijvoorbeeld lucht die langs vliegtuigvleugels stroomt of olie die door lange pijpleidingen wordt gepompt.



Een nette, zogenoemde laminaire, stroming (links) die overgaat in een turbulente stroming (rechts).

[Charlesreid1 via CC BY-SA 3.0](#)

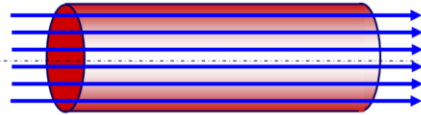
Van laminair naar turbulent:

Elke natuurkundestudent leert dat stroming in een buis omslaat van laminair naar turbulent bij een kritisch Reynoldsgetal tussen 2000 en 2300. Dit dimensieloze getal is in de stromingsleer van groot belang. Het is een maat voor de verhouding tussen de stroomsnelheid en de wrijving van de vloeistof.

Men probeert het ontstaan van turbulentie te begrijpen uit het uitgroeien van kleine verstoringen op de laminaire toestand. Osborne Reynolds toonde in 1883 al aan dat (kleine) verstoringen altijd uitdempen. Wiskundige stabiliteitsanalyse van de bewegingsvergelijkingen laat inderdaad zien dat er slechts één stabiele oplossing is, namelijk de laminaire toestand. In de praktijk zien we daarentegen dat turbulentie zich in een pijpstroming kan handhaven. Dit raadsel houdt natuurkundigen al meer dan een eeuw bezig.

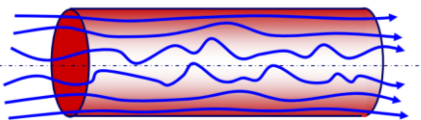
(<https://www.nemokennislink.nl/>)

Laminaire stroming:



- Bereken altijd eerst Reynolds

Turbulente stroming:



- $Re = \frac{\rho v D}{\eta}$
- als $Re > 4000$ turbulent
als $Re < 2100$ laminair

(<http://www.vacuumcursus.nl/>)