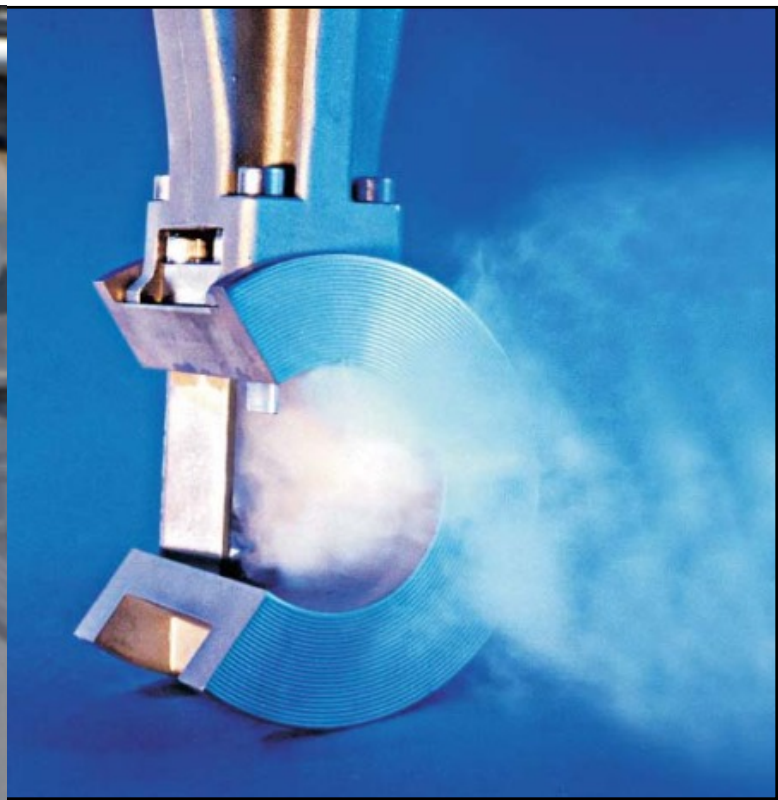
KLINGER Denmark

Flowmåling

Samme måleprincip til væske, gas og damp



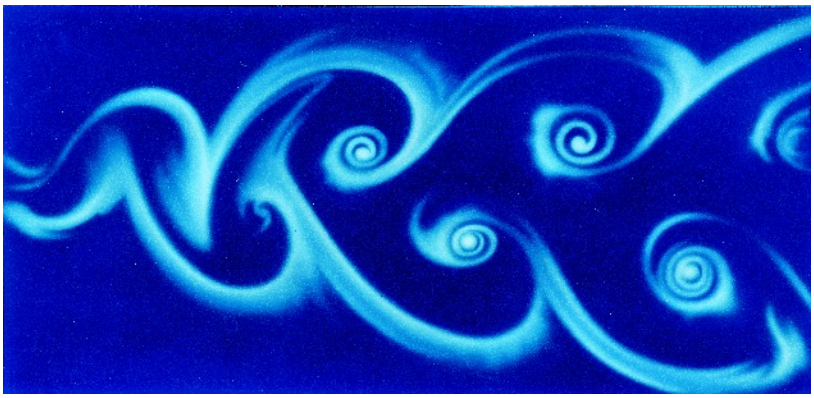
Samme måleprincip til væske, gas og damp

Vortex-flowmåleren er en universel flowmåler, der fortjener større udbredelse end den har i dag.

De første Vortex-flowmålere gjorde deres entre på markedet i starten af 80'erne. Princippet er derefter blevet videreudviklet, så dagens målere er yderst pålidelige flowmålere med et bredt anvendelsesområde inden for såvel væske-, som gas- og dampmåling.

Princippet

Teorien er baseret på et fænomen, som vi, i vort blæsende land, kan betragte næsten hver dag, nemlig blafren af et flag.
Grunden til, at flaget blafrer, er, at der er en flagstang; Ved vindens passage henover flagstangen dannes der nogle hvirvler, som forårsager, at flaget blafrer.



Hvirveldannelsen kan også betragtes ved bropiller ved stærk strøm eller i vandløb bagved sten og lignende.

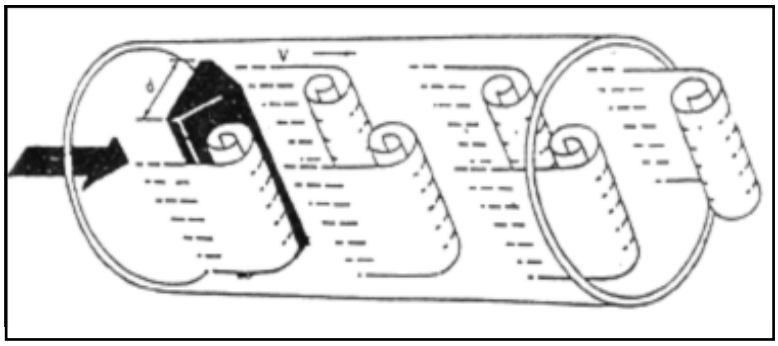
Det vi ser er følgende: Ved lave flowhastigheder følger mediet legemets overflade, og der opstår ingen hvirveldannelse. På et tidspunkt, når mediets hastighed øges, kan mediet ikke længere følge legemets overflade, og det presses væk fra overfladen. Mediets hastighed øges nu i et givent område, og der opstår et lavtryk (jvf. Bernoullis ligning).
Trykændringerne medfører, at mediet - eller en del af det - strømmer tilbage bagved legemet, hvorved flowmønstret krøller lidt sammen, og der dannes hvirvler. Et nærmere studie af hvirveldannelsen viser, at frekvensen, hvormed hvirvlerne opstår, er ligefrem proportional med væskens hastighed.

Bag obstruktionen rives hvirvlerne væk og flyder væk i et ensartet mønster. Den indbyrdes afstand mellem hvirvlerne bestemmes af legemets udformning.

Fænomenet blev iagttaget allerede i 1912 af von Karmen. Hans eksperimenter medførte, at der blev defineret en sammenhæng mellem den indbyrdes afstand af hvirvlerne på tværs, og det indskudte legemes udformning.

På grund af dette arbejde har von Karman lagt navn til det konstante hvirvelmønster, der dannes bagved et bredt, indskudt legeme, idet mønsteret kaldes Von Karmans Vortex Street eller Von Karmans Vortex Tail.

Lidt matematik som baggrund
Alle Vortex-flowmålere har en obstruktion - kaldet et »bluff body« - der sørger for, at en alternerende strøm af hvirvler dannes. Afstanden fra centret af en hvirvel til den næste kaldes bølgelængden og relateres direkte til diameteren på bluff bodiet.



Sammenhængen viser sig at være meget simpel:

$$\lambda = d/S$$

hvor:

λ = bølgelængden
S = Strouhals tal (typisk værdi 0,24)
d = hvirvellegemets dimension

Da hastigheden af et bølgefænomen (en hvirveldannelse) er:

$$v = f * \lambda$$

hvor:
v = flowhastigheden
f = frekvensen

Ved at sammenholde de to ligninger med det faktum, at volumenflowet (*Q*) i et givent rør er lig hastigheden (*v*) multipliceret med rørets arealet (*A*), fås:

$$Q = A * f * d / S$$

I en Vortex-flowmåler er hvirvellegemets dimensioner (*d*) og rørets areal (*A*) konstant, ligesom Strouhals tal er fastsat af legemets udformning.

Alle disse informationer kan samles i en konstant (K), der også kaldes målerens K-faktor (kalibreringsfaktor).

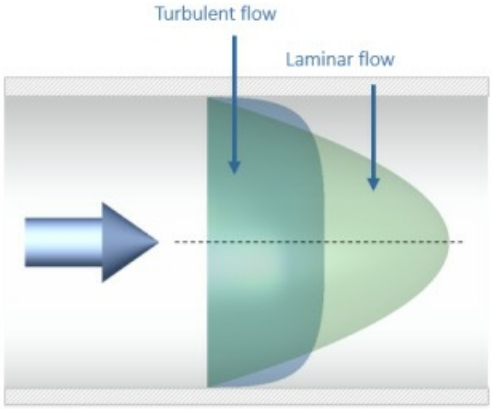
Med andre ord fortæller formlen, at volumenflowet er direkte proportionalt med frekvensen på hvirvlerne - og den grundlæggende måling i Vortex-flowmåleren er altså en ”simpel” frekvenstælling.

Måleområdet begrænses nedadtil
Måleprincippets begrænsning ligger i evnen til at danne hvirvler efter bluff bodiet - altså en afhængighed af væskens viskositet og densitet. I praksis betyder det, at der skal være mere fart på væsken, før hvirvlerne dannes, jo højere densitet/viskositet væsken har.

Eller med andre ord:
Flowmålerens måleområde bliver mindre, når mediet bliver tungere eller tykkere. Det kan udtrykkes ved hjælp af Reynolds-tallet, der skal være >4.000, før hvirvlerne dannes.

Reynolds tallet er en dimensionsløs enhed indenfor fluidmekanikken. Tallet bruges til at forudsige om en strømning bliver laminar eller turbulent.

For cirkulære rør gælder:



Reynolds Number: $R_e = \frac{\rho \times \bar{v} \times D}{\eta}$

Hvor:
r er densiteten
v er middelhastigheden
D er rørets diameter
η er væskens kinematiske viskositet.

- Turbulent flow
  - Flad profil
  - Re > ± 2300
- Laminar flow
  - Parabolisk profil
  - Re < ± 2300
- Overgangsområdet
  - Optræder under uhensigtsmæssige forhold f.eks. ved høj viskositet, lave flow etc.
  - 1500 / 1000 < Re < 4000
    => usikker måling/høj unøjagtighed

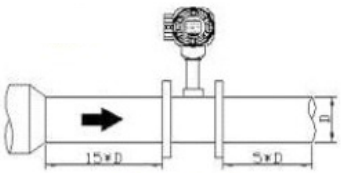
Ved måling af en væske er den typiske målenøjagtighed bedre end ±0,75 procent af den aktuelle måleværdi (4.000 < Re < 20.000 - svarende til en flowhastighed på 0,2 til 9 m/s vand) uafhængig af tryk og temperaturvariationer.

Installation
Da Vortex-princippet er baseret på aftastning af de hvirvler der dannes efter bluff bodiet, er det vigtigt at dannelsen af hvirvler fra andre elementer minimeres.

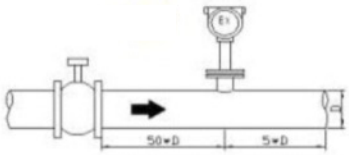
Det betyder at der skal fokuseres mere på installationen af en Vortex flowmåler end andre måleprincipper - ofte med krav til forholdsvis lange respektafstande før og efter måleren, for at reducere dannelse af turbulens.

Da måleprincippet kan benyttes til både væske, gas og damp er angivelserne dog oftest vejledende, fordi en gas er mere ”hysterisk” end en væske (et viskost medie).

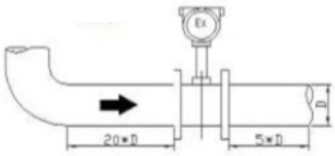
Udover hastighedsprofilet skal man også være opmærksom på målerørets fyldningsgrad, f.eks. kan det være delvist fyldt, eller der kan være luft i mediet.
Måleprincippet forudsætter at røret er helt fyldt, og luft-/luftlommer vil blive medregnet medregnet som var det produkt – og kan derfor resultere i en endog meget stor målefejl.



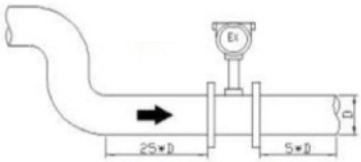
1. Lige rørføring/reduktion > 15 x DN



2. Efter ventil > 50 x DN



3. Efter enkelt bøjning 90° > 20 x DN



4. Efter dobbeltbøjning 2x90° > 25 x DN

Inden der påbegyndes en større fejlsøgning selve måleren er det en god ide at ”træde to skridt tilbage” og visuelt inspicere installationen.

1. Hvilket produkt måles der på ?
2. Er respekt afstandene overholdt ?
3. Er der mulighed for måleren løber tør ?

Anvendelse

Vortex-princippet stiller ingen krav til elektrisk ledningsevne i mediet, hvorfor princippet til mange opgaver inden for væskemåling er et godt supplement til den magnetisk induktive flowmåler - eksempelvis til måling af opløsningsmidler eller væsker ved ekstreme temperaturer (som kryogener ned til -200°C).

Ved måling af en væske er den typiske målenøjagtighed bedre end ±0,75 procent af den aktuelle måleværdi (4.000 < Re < 20.000 - svarende til en flowhastighed på 0,2 til 9 m/s vand) uafhængig af tryk og temperaturvariationer.

I grundligningen for måleprincippet indgår ingen ”mediedata”, hvorfor man under fabrikationen kan kalibrere alle målere med vand, og blot benytte en enkel elektronisk tilpasning (forstærkningen) til andre medier.

En unik ting for princippet er derfor at Vortex målere også kan benyttes som gas- og dampmåler - dog skal man være opmærksom på primærsignalet fra måleren er volumenflow.

Som gasmåler er måleprincippets begrænsning også evnen til at danne hvirvler efter bluff bodiet – altså en afhængighed af gassens viskositet og densitet. I praksis har dette ikke så stor betydning ved gasmåling, da mediet både er lettere og tyndere, men generelt gælder samme regel:

En Vortex-flowmålers måleområde ændrer sig med densiteten på mediet, dette kan udtrykkes v.hj.a. Reynolds-tallet, der skal være > 4.000, for at hvirvlerne dannes – det svarer igen til en hastighed på ca. 5 m/s (luft ved omgivelsesbetingelser).

gas flow range													
Density (kg/m^3)	0.5	0.8	1.2	2.4	3.6	4.8	6	7.2	8.4	9.6	12	20	Qmax
DW	Different density liquid, the mini flow rate Qmin(Unit:m^3/h)												(Unit: m^3/h)
Dn15	5.28	3.85	3.52	3.08	2.97	2.86	2.75	2.64	2.53	2.42	2.31	2.2	38
DN20	9.02	7.26	5.5	5.28	5.17	4.95	4.73	4.4	4.29	4.18	4.07	3.3	67
DN25	11	9.9	8.69	8.36	7.92	7.59	7.26	6.82	6.49	5.94	5.5	4.95	100
DN32	28.6	19.8	15.4	14.52	14.08	13.42	13.2	12.87	12.32	11.99	11.11	9.9	170
DN40	41.8	27.5	22	20.9	19.8	18.7	17.6	16.5	15.4	14.3	13.2	11	300
DN50	52.8	44	34.1	31.9	30.8	28.6	25.3	24.2	23.1	22	19.8	13.2	500

Eksempel på måleområder for gas v. forskellige densiteter (enhed m3/h)

Ved måling af gasser er den typiske målenøjagtighed bedre end +/-1% af den aktuelle måleværdi (4.000 < Re < 20.000), dog gælder det for gasser gælder, at både tryk- og temperaturvariationer har indflydelse på volumenet - og dermed også på en flowmåling i volumenenheder.

En metode til at kompensere for afhængigheden er en ”fastlåsning” af referencepunktet, gennem måling af mediets tryk og temperatur, med efterfølgende omregning til en normalenhed, som:

- Nm^3/h - måleværdien omregnes til normalbetingelser (1.013mbar/273,25K)
- Sm^3/h - måleværdien omregnes til standardbetingelser (1.013mbar/288,25K)
- Kg/h - angivelse i mængdeenhed (masseflow)

Vortex flowmålere kan i dag levers i udgaver med integreret tryk- / temperatur-måling, samt en transmitter der kan sammenholde de målte parametre, for at kunne give et kompenseret målesignal til eksternt udstyr.

Damp er af en mere sammensat karakter og varierer efter tryk- og temperaturforholdene. Derfor kan man ikke opgive generelle retningslinjer, for det hastighedsområde målingen dækker – dog gælder de samme regler som for væsker, nemlig at Reynolds-tallet skal være > 4.000, for at hvirvlerne dannes – og det er derfor nødvendigt med en dimensionering for at fastlægge måleområdet i den aktuelle opgave.

Mpa		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	0.9	1	1.2	1.6	2	Unit
°C		120	134	144	152	159	165	175	180	184	192	204	215	
Kg/m³		1.12	1.67	2.19	2.68	3.18	3.67	4.62	5.16	5.63	6.67	8.52	10.57	
DW mm	Range	Different steam density corresponding with flow range												
15	Qmin	3.85	5.67	7.41	9.12	11	12.54	15.95	17.93	19.36	22.55	29.37	36.19	kg/h
	Qmax	35	51.5	67.4	83	100	115	146	163	176	205	268	329	
20	Qmin	6.84	10.07	13.09	16.17	19.58	22.44	28.49	32.01	34.43	40.04	52.25	64.35	
	Qmax	62.2	91.6	120	147	178	204	259	291	313	365	476	586	
25	Qmin	10.68	15.73	20.46	25.3	30.69	34.98	44.55	49.94	53.79	62.59	81.73	100.54	
	Qmax	97.1	143	187	230	279	318	405	454	489	569	743	914	
32	Qmin	17.49	25.63	33.66	41.47	50.27	57.42	72.93	81.95	88.11	102.63	133.1	163.9	
	Qmax	159	234	306	378	457	522	664	745	802	933	1218	1499	
40	Qmin	25.3	36.3	47.3	58.3	70.4	80.3	102.3	110	121	143	187	231	
	Qmax	300	440	575	710	860	980	1250	1400	1500	1750	2280	2810	
50	Qmin	38.5	38.5	57.2	69.3	83.6	96.8	122.1	137.5	143	165	220	275	
	Qmax	550	460	680	845	1020	1170	1480	1670	1800	2100	2730	3360	

Eksempel på måleområder for mættet damp v. forskellige tryk/temperatur (enhed kg/h)

Dampmåling kan forventes med en typisk målenøjagtighed bedre end +/-1% af den aktuelle måleværdi (4.000 < Re < 20.000), men da målesignalet er afhængig af tryk og temperaturvariationer, anbefales det også her at korrigere for variationerne med en flowcomputer, hvor beregningsformlerne for vanddamp er forprogrammerede, for optimal nøjagtighed.

Vortex flowmåler

Klinger LUGB er en kompakt Vortexflowmåler, til måling af væske, gas og damp. Den leveres enten for montage med flanger eller som Wafer (mellem flanger).

Til gas og damp måling kan leveres model med integreret tryk- og temperatursensor - og transmitteren indeholder de fornødne software algoritmer til kompensation på de mest almindelige medier.

- Samme måler til væske-, gas- og dampmåling
- Dimensioner fra DN15 til DN300
- Kan leveres med integreret tryk- og temperaturmåling

Egenskaber	
Måleområde	Se tabel
Nøjagtighed	±1.0% (væske) / ±1.5% (gas/damp)
Rørdiemsioner	DN 15mm til DN 300mm
Reference medie	Vand
Medie	Væske, gas eller damp (mættet / overhedet)
Funktioner	
Output	Pulse Analog: 4~20mA,max belast 300Ω.
Kommunikation	RS485
Forsyning	24VDC ±15%
Betjening	3-taster for menubetjening
Display	LCD med baggrundsbelysning.
Kompensation	Tryk: DN15…80 / PN25 DN100…200/PN16, >DN200 / PN10
	Temperatur: -20 til 350 °C
Fysiske specifikationer	
Medieberørte dele	Rustfri stål (304 eller 316)
Transmitter	Aluminium / PU Coated
Udførelse	Kompakt eller adskilt udførelse
Tilslutning	Wafer Flange, EN 1092-1 eller ASME B16.5

KLINGER Danmark A/S
Nyager 12-14
DK-2605 Broendby
Denmark
Phone +45 4364 6611

www.klinger.dk