



Doctoral Thesis

Bestimmung der Volumenströme in stationären und pulsierenden Strömungen mit Indikatormethoden unter spezieller Berücksichtigung der Thermodilutionsmethode für Messungen am Blutkreislauf

Author(s):

Solberg, Dag Marton

Publication Date:

1973

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000085785> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. Nr. 5200

**Bestimmung der Volumenströme in stationären und
pulsierenden Strömungen mit Indikatormethoden unter
spezieller Berücksichtigung der Thermodilutions-
methode für Messungen am Blutkreislauf**

ABHANDLUNG

zur Erlangung
des Titels eines Doktors der technischen Wissenschaften
der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE
ZÜRICH

vorgelegt von

DAG M. SOLBERG
dipl. Masch. Ing. ETH
geboren am 30. September 1941
norwegischer Staatsangehöriger

Angenommen auf Antrag von

Prof. Dr. Dr. E.h. P. Grassmann, Referent
Prof. Dr. B. Chaix, Korreferent

Juris Druck + Verlag Zürich
1973

1. ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der sogenannten lokalen Thermo-dilutionsmethode zur Messung des Volumenstromes von stationären und pulsierenden Strömungen in Röhren bzw. Blutgefässen.

Zunächst werden mögliche Fehlerquellen bei Durchflussmessungen in stationären Rohrströmungen aufgezeigt.

Sodann wird ein Modell für die Vermischung einer Indikatorflüssigkeit mit einem Trägermedium, basierend auf der idealen Mischkammer, entwickelt. Die Differentialgleichungssysteme werden in dimensionsloser Form für die verschiedenen Injektionsarten aufgestellt und zwar für:

- Dirac- Stoss- Injektion
- Kurzzeitinjektion
- Konstante Infusion.

Die numerische Lösung dieser Gleichungen erfolgt für Modelle mit 1, 3 und 6 Mischkammern und sinusförmig variierenden Durchfluss mit der MIMIC- Programmiersprache. Die Rechnungen zeigen, dass jede Indikator-methode Werte für den mittleren Volumenstrom liefert, die mit systematischen Fehlern behaftet sind.

Es gelingt, die Abhängigkeit dieser Fehler von dimensionslosen Kenngrößen in allgemeingültiger Form darzustellen.

Weitere Betrachtungen dienen der Abklärung des Einflusses der Pulsationsform und der atemsynchronen Strömungsschwankungen auf den berechneten Volumenstrom.

Versuche mit einer pH- Farbindikatormethode nach Hiby/Danckwerts geben guten Aufschluss über die Vermischung zwischen Injektionsstrahl und Trägermedium. Dabei lassen sich die mischungsbestimmenden Größen deutlich erkennen.

Zur Bestimmung der "Mischungsprofile", auch in pulsierenden Strömungen, wird die Temperaturverteilung während der Injektion einer kälteren Flüssigkeit durch verschiedene Injektionskatheter (Thermodilution) gemessen. Hierzu und für die folgenden Durchflussbestimmungen ist es notwendig, hochempfindliche Temperaturfühler mit sehr niedrigen Zeitkonstanten (10 ms) zu entwickeln.

Das vergleichsweise einfache Herstellungsverfahren ist genau beschrieben.

Mit diesen Temperaturfühlern lässt sich der Volumenstrom nach der Thermodilutionsmethode in stationären, sinusförmig und herzförmig pulsierenden Strömungen gut reproduzierbar bestimmen. Diese Experimente bestätigen die theoretischen Voraussagen.

Die Ergebnisse werden eingehend diskutiert und interpretiert, zudem gelingt es, mit für die klinische Praxis ausreichender Genauigkeit, Richtlinien für Messungen in vivo anzugeben.

Der Einfluss der Indikatorinjektion auf den Volumenstrom in Blutgefäßen wird mit einer Rechnung am Beispiel einer venösen Injektion abgeschätzt.

Zum Schluss werden Tier- und Modelleexperimente einander kritisch gegenübergestellt.

Für die Versuche wurde ein flexibles Kreislaufmodell erstellt, an dem alle erforderlichen Strömungs- und Pulsationsformen, einschliesslich der herzförmigen Pulsation, einstellbar sind. Die Entwicklung einer einfachen, zuverlässigen, phasengesteuerten Injektionsapparatur ermöglicht das Einstellen beliebiger Temperaturen und Volumenströme der Injektionsflüssigkeit.

Parallel zu dieser Arbeit führt Kämpfen [1] * ähnliche Untersuchungen am gleichen Kreislaufmodell mit der Röntgendensitometrimethode durch.

*) Die Zahlen in eckigen Klammern beziehen sich auf die Literaturangaben im Anhang.

SUMMARY

The present investigation relates to the so called local thermal dilution method of measuring volumetric flow rates for both steady and pulsating flow in tubes such as blood vessels.

The possible sources of error are first considered for steady state flow. A mathematically model is then developed, based on ideal mixing chamber assumptions, to describe the mixing of a tracer liquid with the main flowing stream. The dimensionless differential equation system has been adapted to the following tracer fluid injection methods:

- Unit impulse injection.
- Pulse (short time) injection.
- Continuous injection.

The MIMIC digital computer simulation language was employed to solve models incorporating 1, 3, and 6 mixing chambers and sinusoidal flow.

The computed flowrates showed a systematic error for each indicator injection method. This error has been correlated with dimensionless numbers generally valid.

Further considerations explain the influence of heart - like flow and flow fluctuations due to the respiratory system, on flow rate.

The experimemtally Hiby/Danckwerts pH- color indicator method was effectively used to determine the mixing characteristics of an indicator jet for steady state flow conditions. For pulsating flow systems, the "mixing profiles" were measured using a thermal tracer method. Here, a colder liquid was injected and the temperature profiles determined using specially developed highly sensitive thermistor probes with a 10 ms time constant. Construction details of this relatively simple probe are also discussed.

Good reproducibility in measurement of the volumetric flow rate is achieved by the use of these thermal probes for steady and unsteady flow as well.

The experimental results are found to agree with the theoretical predictions. All results, both analytical and experimental, are thoroughly discussed. The use of this analysis is demonstrated for measuring blood circulation rates in living animals. The flow disturbance in blood vessels caused by use of these procedures is estimated through a sample computation.

Finally experiments on models and living animals are subjected to critical comparison.

To conduct these experiments a flexible cardiovascular model was built, which permits the setting of all required flow and pulsating pattern including heart - like pulsation.

The development of a simple but reliable phasecontrolled injection mechanism allows selection of arbitrary temperatures and flow quantities of the injection liquid.

Parallel to this work Kämpfen [1] conducts similar experiments on the same model using the X-ray densitometric method.