

M4

MESSUNG DES STRÖMUNGSWIDERSTANDSKOEFFIZIENTEN VON KÖRPERN IN WINDKANAL (TYP NPL)

1. Ziel der Messung

Beim Entwerfen von Gebäuden, Tragwerken und Fahrzeugen ist es wichtig, die auf die in die Strömung gestellten Körper wirkenden Kräfte und Momente zu kennen. Bei dieser Messung wird der Strömungswiderstand von Platten, die senkrecht zur Strömung stehen, bestimmt. Die Kraftveränderungen infolge der Geometrieänderung der Platte werden auch untersucht. Zur Messung wurden zwei Messreihen vorbereitet.

- A: Die Aufgabe ist die Messung des Widerstandsbeiwertes von senkrecht zur Strömung gestellten Flächen (Platten) mit verschiedener Abrundung. Zu untersuchen ist die Veränderung des Widerstandsbeiwertes abhängig von der Abrundung.
- B: Während der Messung soll man den Widerstandsbeiwert von senkrecht zur Strömung gestellten Sieb- und Gitterplatten (mit verschiedener Dichte) bestimmen.

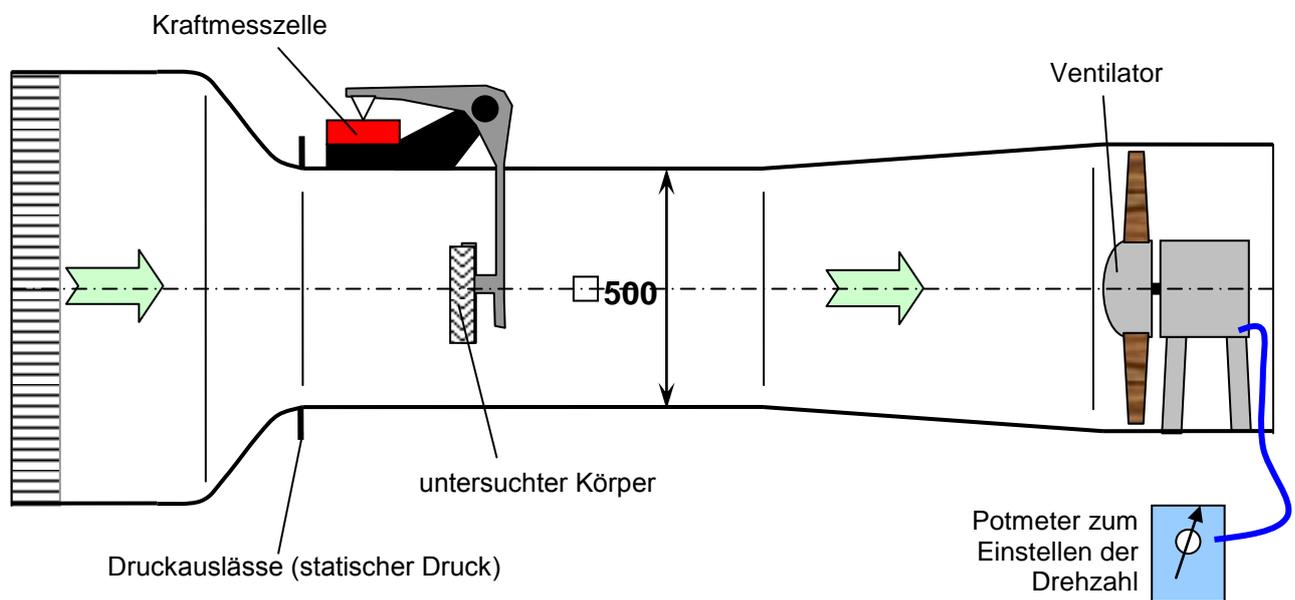
2. Beschreibung der Messeinrichtung

Der Windkanal vom Typ NPL (*National Physical Laboratory*) ist ein einsaugender Kanal mit geschlossenem Messraum. Der Messraum hat einen Quadratquerschnitt $\square 500 \times 500$ mm, seine Länge ist 2 m. Vor dem Messraum findet man den Einsaugöffnung mit Konfusor und mit

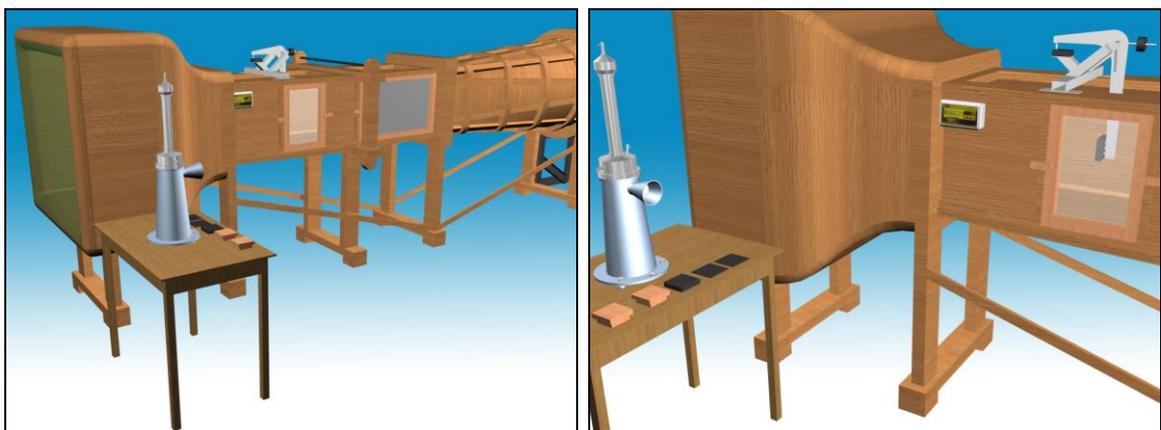
einem Gleichrichter, ausgerüstet mit Sieben, mit den die gleichmäßige Geschwindigkeitsverteilung sichert wird. Mit Hilfe der Leitung hinter dem Konfusor kann die Druckdifferenz Δp_k zwischen dem Windkanal und der Atmosphäre gemessen werden. Mit Hilfe dieses Wertes können wir die Geschwindigkeit in der Mitte des Messraumes berechnen.

Zur Messung von Δp_k kann ein Digital-Handmanometer angewandt werden. Hinweise zur Bedienung findet man im 3. Kapitel bzw. im Dokument [3].

Nach dem Messraum befindet sich ein Diffusor, dann der Ventilator, der für die Luft sorgt. Der Ventilator wird von einem Gleichstrommotor (Kommutatormotor) angetrieben, dessen Drehzahl mit Hilfe eines Potentiometers zwischen den Werten 0 und 1500 [1/min] verändert werden kann. Die Blasgeschwindigkeit ist so zwischen den Werten 0 und 15 [m/s] einstellbar. Der zu messende Körper soll an den - in den Messraum eingreifenden - Arm einer Waage montiert werden, deren andere Arm auf eine elektrische Waage sich stützt. So kann die auf den Körper wirkende Kraft gemessen werden.



Messaufstellung des Windkanales vom Typ NPL



3. Prinzip der Messung, die zu messenden Größen

Mit den auf die in die Strömung gestellten Körper wirkenden Kräften und mit den Kraft- und den Widerstandsfaktoren beschäftigt sich das Lehrbuch *Az áramlástan alapjai* [1] im Kapitel 11. Die Aufgabe ist der Ausbau der Messanordnung, die die Messung der

Widerstandskraft (deren Richtung ist gleich der Richtung der Strömungsgeschwindigkeit) ermöglicht. Zu bestimmen sind die Blasgeschwindigkeit und die auf den Körper wirkende Kraft, aus denen der Widerstandsbeiwert bestimmt werden kann.

$$F_e = c_e \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v_\infty^2 \cdot A$$

wo c_e [-] der Widerstandsbeiwert, v_∞ [m/s] die Blasgeschwindigkeit, A [m²] die charakteristische, zur Blasgeschwindigkeit senkrechte Querschnittsfläche des Körpers und ρ [kg/m³] die Dichte der strömenden Luft ist. Die Blasgeschwindigkeit v_∞ kann aus dem am Konfusor gemessenen Druckfall Δp_k gemessen werden.

In der Mitte des Messraumes können wir den zur Berechnung der Geschwindigkeit nötigen dynamischen Druck nicht messen, da dort der zu messende Körper steht. So wurde der Kanal früher qualifiziert, also wurde untersucht, wie gleichmäßig die Geschwindigkeitsverteilung im gegebenen Querschnitt des Messraumes ist, und wurde auch der Zusammenhang zwischen dem am Konfusor gemessenen Druckfall und dem dynamischen Druck bestimmt:

$$p_d = k \cdot \Delta p_k$$

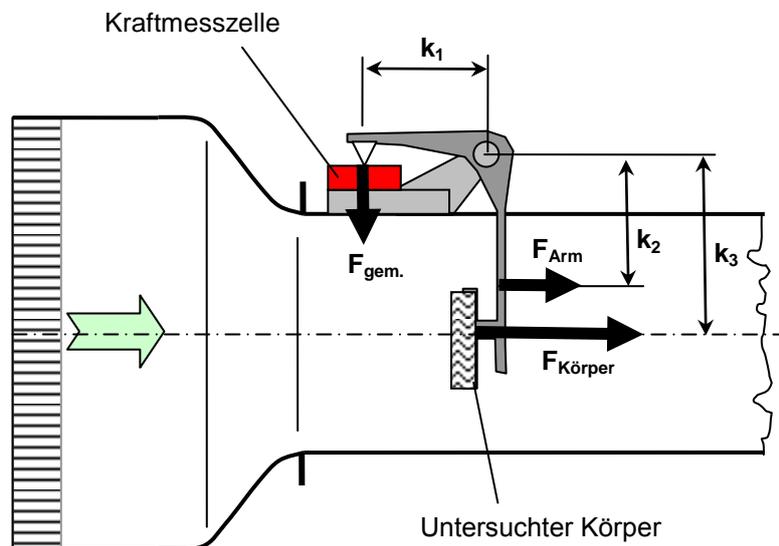
wo die Konstante k [-] (ohne Gitter) gleich 1,015 ist.

So kann man die Geschwindigkeit folgenderweise berechnen:

$$v_\infty^2 = \frac{2}{\rho} p_d$$

Die Reynoldssche Zahl kann auch berechnet werden, zu der der Wert der kinematischen Viskosität auf der Webseite des Lehrstuhles zu finden ist.

Die auf den Körper wirkende Kraft kann aus der Gleichung des Momentengleichgewichtes bestimmt werden.



Es wird die auf den Arm (ohne Körper) wirkende Kraft gemessen, da wenn die auf den Körper wirkende Kraft gemessen wird, wird sie mit der auf den Arm wirkenden Kraft zusammen gemessen. Der Körper wird deshalb vor den Arm gestellt, aber nicht an den Arm befestigt (das ist die sogenannte Abdeckungsmethode), so wird nur das Moment am Arm (M_{Arm}) gemessen. In diesem Fall können wir aufschreiben:

$$k_1 \cdot F_{gem, Arm} = M_{Arm}$$

und mit dem Körper:

$$k_1 \cdot F_{gem.} = M_{Arm, korr.} + k_3 \cdot F_{Körper}$$

Da die zwei Messungen nicht bei genau gleichen Geschwindigkeitswerten durchgeführt wurden, ist eine Korrektur nötig:

$$M_{Arm, korr.} = M_{Arm} \left(\frac{v_{gem}}{v_{gem, Arm}} \right)^2$$

Mit Hilfe der Formeln kann die auf den Körper wirkende Kraft berechnet werden:

$$F_{Körper} = \frac{k_1 \cdot F_{gem.} - M_{Arm, korr.}}{k_3}$$

4. Ablauf der Messung

Während der Messung soll die Messgruppe den Widerstandsbeiwert von mindestens 4-5 Körpern (aus einer oder zwei Gruppen) bei verschiedenen Reynoldsschen Zahlen bestimmen. Wenn wir die Messgeräte schon kennengelernt haben, der erste Schritt ist die Bestimmung der auf den Waagenarm wirkenden Kraft. Das soll bei 4-5 verschiedenen Reynolds-Zahlen, also bei 4-5 verschiedenen Geschwindigkeiten für jeden einzelnen Körper durchgeführt werden. Nach der Bestimmung der auf den Arm wirkenden Kräfte werden die Körper an den Arm befestigt und wir wiederholen die Messungen.

Die Luftdichte ρ kann aus den jeweiligen Zustandsgrößen (p_0 , T) berechnet werden:

$$\rho = \frac{p_0}{R \cdot T}$$

wo p_0 der jeweilige barometrische Druck ist, $R = 287 \frac{J}{kg \cdot K}$ und T ist die aktuelle Lufttemperatur in K gemessen.

5. Auswertung der Messung und Vergleich mit den Literaturwerten

Bei der Auswertung der Messung wird die Veränderung des Strömungswiderstandskoeffizienten abhängig von der Abrundung untersucht, die durch den Quotient des Abrundungsradius und des Durchmessers (oder der Kantenlänge) charakterisiert wird. Darstellen wir den Widerstandsbeiwert abhängig von diesem Wert! Im Fall von Sieben können wir die Geometrie durch den Querschnittsverhältnis A_{Frei} / A_{Gesamt} charakterisieren. Veranschaulichen wir die Abhängigkeit des Widerstandsbeiwertes von der Reynoldsschen Zahl!

Die erhaltenen Ergebnisse sollen wir - wenn möglich ist - mit den Literaturwerten vergleichen, z. B. mit den Werten im Buch *Az áramlástan alapjai*. Danach sollen wir eine Fehlerberechnung machen. Die Fehlerberechnung soll grundsätzlich für den Widerstandsbeiwert durchgeführt werden, also anhand dem auf der Webseite befindlichen Hilfsmaterial für den Fehlerberechnung: $R=c_e$.

Die Größen mit Ablesefehler belastet (X_i), die in der Formel von c_e explicit vorkommen sollen, bzw. ihre Fehler:

- | | | |
|---|-------------------|--------------------------|
| - Druckdifferenz beim Digitalmanometer: | $X_1 = \Delta p,$ | $\delta \Delta p = 2 Pa$ |
| - Kraftmessgerät: | $X_2 = F_e,$ | $\delta F_e = 0,02 N$ |
| - Temperatur | $X_3 = T$ | $\delta T = 1 K$ |
| - Atmosphärendruck | $X_4 = p_0$ | $\delta p_0 = 2 Pa$ |

Weitere Fehler können auftreten, z. B. aus der geometrischen Ungenauigkeit, aus der ungenügenden Einstellung oder aus der Veränderung des Strömungsbildes. Diese Fehler können wir durch weiteren Untersuchungen bestimmen bzw. vermeiden.

der Widerstandsbeiwert,

$$c_e = \frac{F_e}{\frac{\rho}{2} v^2 A}$$

der absolute Fehler:

$$\delta c_e = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\delta X_i \cdot \frac{\partial c_e}{\partial X_i} \right)^2}$$

der relative Fehler:

$$\frac{\delta c_e}{c_e} = ?$$

Die Hinweise zur Auswertung bzw. die formale Anforderungen des Protokolls findet man im Dokument *mereskov.doc* auf der Webseite www.ara.bme.hu

Die zu messenden Körper sind die folgenden (die Buchstabensymbole sind an den Körpern zu sehen):

- Gruppe A: Gitter „A“ (4 Stücke)
- Gruppe B: Gitter „B“ (4 Stücke)
- Gruppe C: dichte Körper „C“ (6 Stücke)

Während der Messung darf man nicht vergessen:

- Vor dem Einschalten der Messeinrichtung, und während des Betriebes der Messeinrichtung muss man davon überzeugt werden, dass der Betrieb unfallfrei ist. Man muss die anderen darauf aufmerksam machen, dass die Messeinrichtung eingeschaltet wird oder während der Messung etwas verändert wird.
- Aufschreiben des Atmosphärendrucks und der Raumtemperatur.
- Aufschreiben der Messeinheiten der von den angewandten Messeinrichtungen abgelesenen Werte und der Faktoren, die sich auf diese Messeinheiten beziehen (z.B. die Geschwindigkeit der Musterentnahme vom digitalen Mikromanometer, der Zeitpunkt der Nullpunktüberprüfung).
- Aufschreiben des Typs und der Seriennummer des Messgerätes, und Aufschreiben der Dichte der Flüssigkeit im Messgerät.
- Die Messeinheiten der vom Messgerät abgelesenen Größen und der bei der Berechnung angewandten Größen müssen aufeinander abgestimmt werden.
- Die Druckmessgeräte (mit Flüssigkeit) dürfen nur entsprechend ausgeglichen benutzt werden (Pegel stimmen überein).
- Wir sollen aufmerksam bei der Einbindung des Druckmessgerätes und bei der Auswahl der + und - Seiten, bzw. der Messgrenze sein. Im allgemeinen bei allen Manometertypen, aber besonders bei dem Schrägrohrmanometer muss man darauf achten, dass das Gummirohr auf die Anschlussstücke des Druckmessers vorsichtig hinaufgesetzt werden soll. Man muss dabei das Benehmen der Messflüssigkeit folgen. Wenn die Auslenkung der Messflüssigkeit vor der Befestigung der Anschlussrohre den Maximalwert annähert, soll die Messgrenze des Messgerätes möglicherweise geändert werden. Wenn das nicht behilflich sein kann, dann soll ein für die Messung größerer Druckwerte geeignetes Messgerät gewählt werden. Gegenfalls strömt sich die Messflüssigkeit ins Anschlussrohr und verfälscht oder verunmöglicht so die Messung.
- Die Gummi- und Silikonenteile bzw. -rohre müssen vor der Messung und eventuell während der Messung überprüft werden, ob sie keine Risse und keinen Bruch haben, da mit solchen Messrohren werden alle bisherigen Messergebnisse verlorengehen. Diese Überprüfung kann mit dem Auge oder durch Druckprobe durchgeführt werden. Kritische Punkte sind die Anschlussstellen an Druckauslässe oder an Geräte.

6. Literatur (in ungarischer Sprache)

- [1] Lajos Tamás: Az áramlástan alapjai. Műegyetemi Kiadó, 2004; Jegyzet azonosító: 45072.
- [2] EMB-001 kézi digitális nyomásmérő berendezés leírása
- [3] A mérési jegyzőkönyv formai és tartalmi követelményei

Dokumente [2] und [3] findet man unter <http://www.ara.bme.hu/oktatas/labor/labor.htm>