

P O L S K A   A K A D E M I A   N A U K  
INSTYTUT MASZYN PRZEPLYWOWYCH

PRACE  
INSTYTUTU MASZYN  
PRZEPLYWOWYCH

TRANSACTIONS  
OF THE INSTITUTE OF FLUID-FLOW MACHINERY

83-84

WARSZAWA - POZNAŃ 1983

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE

---

# PRACE INSTYTUTU MASZYN PRZEPŁYWOWYCH

poświęcone są publikacjom naukowym z zakresu teorii i badań doświadczalnych w dziedzinie mechaniki i termodynamiki przepływów, ze szczególnym uwzględnieniem problematyki maszyn przepływowych

\*

## THE TRANSACTIONS OF THE INSTITUTE OF FLUID-FLOW MACHINERY

exist for the publication of theoretical and experimental investigations of all aspects of the mechanics and thermodynamics of fluid-flow with special reference to fluid-flow machinery

---

### RADA REDAKCYJNA—EDITORIAL BOARD

TADEUSZ GERLACH · HENRYK JARZYNA · JERZY KRZYŻANOWSKI  
STEFAN PERYCZ · WŁODZIMIERZ PROSNAK · KAZIMIERZ STELLER  
ROBERT SZEWAŁSKI (PRZEWODNICZĄCY - CHAIRMAN) · JÓZEF ŚMIGIELSKI

### KOMITET REDAKCYJNY—EXECUTIVE EDITORS

KAZIMIERZ STELLER — REDAKTOR — EDITOR  
WOJCIECH PIETRASZKIEWICZ · ZENON ZAKRZEWSKI  
ANDRZEJ ŻABICKI

### REDAKCJA—EDITORIAL OFFICE

Instytut Maszyn Przepływowych PAN  
ul. Gen. Józefa Fiszera 14, 80-952 Gdańsk, skr. pocztowa 621, tel. 41-12-71

Copyright  
by Państwowe Wydawnictwo Naukowe  
Warszawa 1983

Printed in Poland

ISBN 83-01-04553-1  
ISBN 0079-3205

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE — ODDZIAŁ W POZNANIU

Nakład 340+90 egz.	Oddano do składania 17 VI 1982 r.
Ark. wyd. 21,5. Ark. druk. 16,75+1 wkl.	Podpisano do druku 22 IV 1983 r.
Pap. druk. sat. kl. V, 70 g	Druk ukończono w maju 1983 r.
Nr zam. 489/184.	E-9/215. Cena zł 200,—

DRUKARNIA UNIWERSYTETU IM. A. MICKIEWICZA W POZNANIU

# HYDROFORUM

KONFERENCJA NAUKOWO-TECHNICZNA

na temat

PROBLEMY ROZWOJU HYDRAULICZNYCH MASZYN  
WIROWYCH ZE SZCZEGÓLNYM UWZGLĘDNIENIEM POTRZEB  
ENERGETYKI

Porąbka-Kozubnik, 20 - 23, września 1980 r.

\*

# HYDROFORUM

SCIENTIFIC-TECHNICAL CONFERENCE

on

DEVELOPMENT PROBLEMS OF HYDRAULIC TURBOMACHINES  
WITH SPECIAL ACCOUNT OF THE NEEDS OF POWER ENGINEERING

Porąbka-Kozubnik, September 20 - 23, 1980

\*

# ГИДРОФОРУМ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

на тему

ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ РОТОРНЫХ МАШИН  
С ОСОБЫМ УЧЕТОМ НУЖД ЭНЕРГЕТИКИ

Поромбка-Козубник, 20 - 23 сентября 1980 г.

OLIVÉR FÜZY

Budapest\*

## Der Einfluss des Luftgehaltes bei der Simulation von Transient-Erscheinungen in einer Rohrstrecke

Der Luftgehalt des Wassers kann die Druckschwankungen in einer Rohrstrecke wesentlich beeinflussen. Zur Untersuchung solcher Erscheinungen wird ein Simulationsverfahren vorgeschlagen. Bei der Berechnung der Schallgeschwindigkeit wird die Luftkonzentration in Rechnung gezogen. Es treten Schwierigkeiten bei der Berücksichtigung der Absorptionsgeschwindigkeit und Desorptionsgeschwindigkeit auf. Anhand verschiedener Beispiele wird der Einfluss der Absorptions- bzw. Desorptionsgeschwindigkeit gezeigt.

Die Untersuchung eines hydraulischen Systems kann mit Hilfe verschiedener Methoden durchgeführt werden. Eine Klasse von Verfahren zur Systemuntersuchung kann als Simulation bezeichnet werden. Bei einer Simulation untersucht man aber nicht das Verhalten des Systems selbst, sondern das Verhalten eines Modellsystems. So wird ein gegenständliches Systemmodell als Systemabbild aufgebaut, und die Simulation durch Messen und derer Auswertungen durchgeführt. Eine andere Methode wäre nach einer Abstraktion des tatsächlichen Systems die Aufstellung eines mathematischen Modellsystems und Simulation mit Hilfe eines Rechenautomaten.

Zur Simulation des dynamischen Verhaltens eines hydraulischen Systems betrachten wir das System, aufgebaut wie folgt:

Die einzelnen Strecken zwischen zwei Knotenpunkten nehmen wir immer als elastische Rohrstrecken an, in denen die Geschwindigkeit der Druckwelle aus den üblichen Formeln zu entnehmen ist. Das mathematische Modell dieser Systemelemente besteht aus der Bewegungsgleichung

$$\frac{\partial c}{\partial t} + c \frac{\partial c}{\partial s} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial s} + g \frac{dh}{ds} + \frac{\lambda}{2d} |c|c = 0$$

und einer Kontinuitätsgleichung

$$\frac{\partial p}{\partial t} + c \frac{\partial p}{\partial s} + w^2 \frac{\rho}{d^2} \frac{\partial}{\partial s} (cd^2) = 0,$$

wo  $p$  der Druck,  $c$  die Geschwindigkeit,  $\rho$  die Dichte,  $s$  die Längenkoordinate,  $t$  die Zeitkoordinate,  $h$  die Höhe von einer Grundebene gemessen,  $\lambda$  der Reibungskoeffizient,  $d$

\* Lehrstuhl für Hydraulische Maschinen, Technische Universität, Budapest.

der Durchmesser des Rohrs, und  $w$  die Geschwindigkeit der Druckwelle ist wie folgt:

$$w^2 = \frac{E_r}{\rho}$$

Die Knotenpunkte als Systemelemente betrachten wir als solche, die die elastischen Rohrstrecken der Systemtopographie entsprechend verbinden, die aber weitere Untersysteme enthalten können. In diesen Untersystemen ist aber die Geschwindigkeit der Druckwelle schon als unendlich gross betrachtet. Ein Knotenpunkt des Systems kann dementsprechend von einer einfachen Verbindungsstelle zweier Rohrstrecken oder einer Verzweigung ausgehend bis zu einer komplizierten Pumpenstation ausgebaut werden. Im mathematischen Sinne allerdings kann ein solcher Knotenpunkt und das mathematische Modell des Knotenpunkts als Randbedingung für die nichtlineare hyperbolische Randwertaufgabe bzw. Randwertaufgaben der elastischen Rohrstrecken dienen. Zur Lösung der hyperbolischen Randwertaufgaben kann z.B. das sogenannte Charakteristiken-Verfahren angewendet werden. So können die Geschwindigkeit und der Druck an gegebenen Stellen und in gegebenen Zeitpunkten dem bekannten Verfahren entsprechend berechnet werden. In den Randpunkten soll man allerdings beachten, dass man von seiten der Charakteristiken her nur einen linearen Zusammenhang zwischen Druck und Geschwindigkeit bekommen kann. Näheres über das Verfahren und über die Berechnung der Untersysteme findet man in den Ausgaben der V und VI Internationalen Konferenz über Strömungsmaschinen in Budapest [2 - 5].

Die Ergebnisse der Simulation bei einem gegebenen System hängen sehr stark von der Grösse der Geschwindigkeit der Druckwelle ab. Es ist besonders interessant, wenn im Laufe der Simulation die Druckwellengeschwindigkeit sich wesentlich ändert, was im Falle des Ausscheidens gelöster Gase bei entsprechend geringen Drucken der Fall ist. Wenn wir ein Volumen  $V$  von einem Volumen der ausgeschiedenen Gase  $V_g$  und der Flüssigkeit  $V_f$  zusammengesetzt betrachten,  $V = V_g + V_f$ , kann als Definition die Volumenkonzentration

$$\alpha = \frac{V_g}{V} = \frac{V_{g0}}{V} \frac{p_0}{p} = \alpha_0 \frac{1}{p}$$

eingeführt werden, wo  $p_0$  ein Bezugswert ist und  $\alpha_0$  zu diesem Wert gehört.

Um die Geschwindigkeit der Druckwelle berechnen zu können, müssen wir definitionsweise die Dichte und das Elastizitätsmodul des Gas-Flüssigkeitsgemisches einführen. Für die Dichte soll

$$\rho = \alpha \rho_g + (1 - \alpha) \rho_f \cong (1 - \alpha) \rho_f$$

sein, wo  $\rho_g$ ,  $\rho_f$  die Dichte des Gases bzw. der Flüssigkeit ist. Für das Elastizitätsmodul gilt wie folgt

$$\frac{1}{E_r} = \frac{\alpha}{E_g} + \frac{1 - \alpha}{E_f} + \frac{nd}{\delta E_c}$$

und

$$E_g = E_{g0} \frac{p}{p_0},$$

wo  $\delta$  die Wandstärke des Rohres,  $E_g$ ,  $E_f$  und  $E_c$  die Elastizitätsmodule des Gases, der Flüssigkeit und des Rohrmaterials sind.

An Hand dieser Definitionen kann nun die Geschwindigkeit der Druckwelle berechnet werden:  $w_{\text{Gem}} = \varphi w$  und

$$\varphi \cong \sqrt{\frac{1}{1 - \frac{\alpha_0}{p}} \frac{1}{1 + k \frac{\alpha_0}{p^2}}} \quad (1)$$

wo für  $k$  folgendes gilt

$$k = \frac{E_f E_c}{E_{g0}} \frac{1}{E_c + n \frac{d}{\delta} E_f}$$

und  $E_{g0}$  das Elastizitätsmodul des Gases beim Bezugsdruck ist.

Wie man es der Formel (1) entnehmen kann, hängt die Geschwindigkeit der Druckwelle unter anderen vom Druck ab. Da aber dieser Druck mit Hilfe des Charakteristikenverfahrens berechnet wird und die Neigung der Charakteristiken von der Geschwindigkeit der Druckfälle abhängt, muss ein Iterationsverfahren eingeführt werden, das heisst mit Hilfe einer Iteration wird die Formel (1) befriedigt.

Besonders beachtenswert ist die Rolle von  $\alpha_0$  in der Formel (1). Der Wert  $\alpha_0$  gehört zum gasfreien Zustand, und wenn es nicht 0 ist, müssen die Werte mit Hilfe der Desorptions- bzw. Absorptionsgeschwindigkeit berechnet werden, wobei man daran achtet, dass der Sättigungszustand nicht überschritten werden kann.

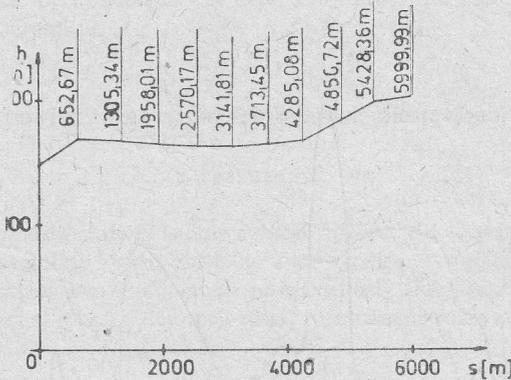


Abb. 1

Am Lehrstuhl für Hydraulische Maschinen der Technischen Universität Budapest wurde das seit Jahren angewandte Simulationsprogramm mit dieser Iteration ergänzt, nachdem die Korrekturen der Dichte und des Verlustkoeffizienten durchgeführt wurden. Mit Hilfe dieses Simulationsprogramms wurden dann verschiedene Untersuchungen durchgeführt. Einige charakteristischen Ergebnisse sollen hier beigeführt werden. Der

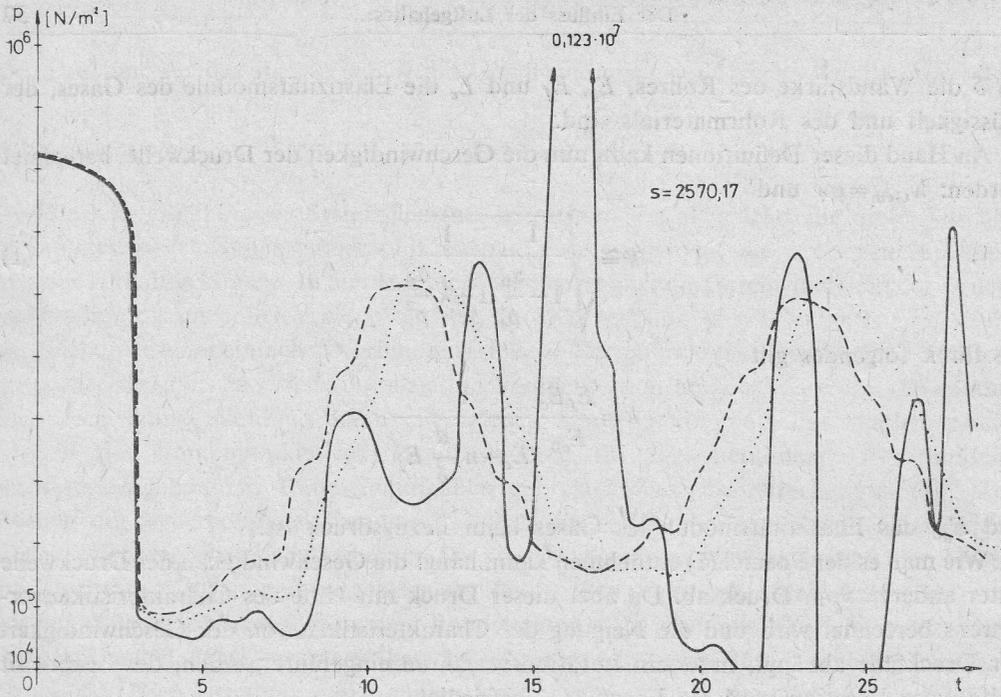


Abb. 2

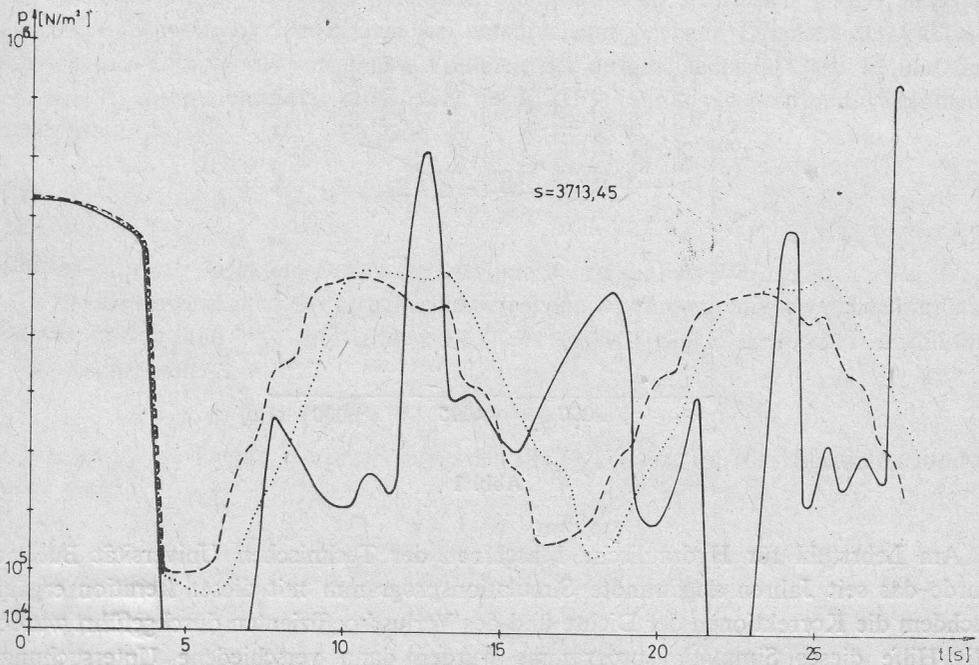


Abb. 3

Abbildung 1 können die Höhenkoordinaten längst einer Rohrstrecke entnommen werden. Abbildungen 2 und 3 zeigen den zeitlichen Ablauf des Druckes an gewählten Stellen. Die stetigen Linien gehören zum gaslosen Zustand, die gestrichelten dagegen zu dem Fall, wo die Absorptions- bzw. Desorptionsgeschwindigkeit unendlich gross ist, die punktierten dagegen gehören zu einer kleineren Absorptions- bzw. Desorptionsgeschwindigkeit. Wie es von den Abbildungen zu entnehmen ist, ist der Unterschied der Druckabläufe sehr wesentlich, so, dass es sich einerseits weitgehend lohnt, uns mit diesem Problemkreis zu beschäftigen, andererseits es zu erkennen ist, dass Untersuchungen zur Ermittlung der Absorptions- bzw. Desorptionsgeschwindigkeit durchgeführt werden sollen, um das ganze Phänomen näher erkennen zu können.

#### Literatur

- [1] B. Almásy, Doctor's Thesis, Budapest 1966.
- [2] O. Fűzy, G. Halász, L. Kullmann, *Simulation of pressure oscillations in pipelines*. Proceedings of the Fifth Conference on Fluid Machinery. Budapest 1975.
- [3] O. Fűzy, *Analysis of Hydraulic Systems by Means of Digital Simulation*. Proceedings of the Sixth Conference on Fluid Machinery. Budapest 1979.
- [4] O. Fűzy, *Hydraulic Machines* (in Hungarian), pp. 271 - 278. Budapest 1978.
- [5] O. Fűzy, L. Kullmann, *Rapid method for calculating the liquid flow in a pipe network*. Proceedings of the Sixth Conference on Fluid Machinery, Budapest 1979.
- [6] O. Fűzy, L. Kullmann, *Limits of simplification of strongly looped pipe networks in waterhammer analysis*. Proc. 3rd Int. Conf. on Pressure Surges. Paper B5. Canterbury 25 - 27. March 1980.
- [7] D. J. F. Ewing, *Allowing for free air in waterhammer analysis*. Proc. 3rd Int. Conf. on Pressure Surges. Paper C2. Canterbury 25 - 27 March 1980. Organized by BHRA Cranfield.
- [8] C. S. Martin, M. Padmanabhan, D. C. Wiggert, *Pressure wave propagation in two-phase bubbly air-water mixtures*. Paper C1. London 22 - 24 Sept. 1976. Proc. 2nd Int. Conf. on Pressure Surges. Organized by BHRA Cranfield.

### Wpływ zawartości powietrza na symulację zjawisk niestacjonarnych w rurociągu

#### Streszczenie

Powietrze zawarte w wodzie może w istotny sposób wpływać na oscylacje ciśnienia w rurociągu. Zaproponowano metodę symulacji celem zbadania tych zjawisk. W obliczenia prędkości dźwięku włączono zawartość powietrza. Pewne trudności powstają, gdy uwzględnia się prędkość absorpcji i desorpcji. Wpływ prędkości absorpcji i desorpcji został zilustrowany różnymi przykładami.

### The Influence of Air Content on the Simulation of Transient Phenomena in a Pipeline

#### Summary

The air contained in water can considerably influence the pressure oscillations in a pipeline. A simulation method has been proposed in order to investigate these phenomena. The air content has been incorporated into the calculation of flow velocity. Some difficulties arise when account is taken of absorption and desorption rates. The influence of absorption and desorption rates has been illustrated by various examples.

## Влияние содержания воздуха на симуляцию нестационарных явлений в трубопроводах

### Резюме

Содержавшийся в воде воздух может истинно влиять на осцилляции давления в трубопроводе. Предлагается метод симуляции с целью исследования этих явлений. В расчетах скорости звука учитывается содержание воздуха. Затруднения возникают, когда учитываются скорости абсорпции и десорпции. Влияние скорости абсорпции и десорпции иллюстрируются различными примерами