

الزيادة في ضغط الماء عند حدوث الصدمة الهيدروليكية

تأليف DOC.ENG. VASIL VODZINSKY

نقلها الى اللغة العربية :

الدكتور غسان يونس المدرس بكلية

الهندسة المدنية

تحدث هذه المقالة عن متابعة تطور الزيادة في ضغط الماء عند حدوث الصدمة الهيدروليكية على جهاز جديد للقياس وكذلك التحليل النظري لهذه الصدمة .

ان معايرة التدفق في أنابيب الضغط مقرونة دائما بتغير في نظام سرعة التدفق والتي تظهر فجأة كزيادة في ضغط الماء وتعرف هذه الحادثة بالصدمة الهيدروليكية .

الامثلة العملية لها كثيرة فمثلا يمكن حدوثها عند تنظيم التدفق في الانابيب المضغوط الموصولة بالعنفات أو المضخات أو عند معايرة التدفق الناتج عن فتح واغلاق السكر المائي وكذلك يمكن حدوثها من تخفيض الضغط الناتج في الانابيب وحدث ما يسمى بتحت الضغط ... الخ .

ان اهمال تأثير الصدمة عند تصميم وانشاء المآخذ المائية في المحطات الكهرومائية (المضخات أو المعدات المائية) تؤدي الى حدوث اضرار غير متوقعة لذلك يجب وضع جهاز في كل محطة هيدروليكية لتلافي حادثة الصدمة المائية هذه .

ان نظرية الصدمة الهيدروليكية هي معدلة في أيامنا هذه اي أن السرعة والضغط هما تابعان لمتحول الزمن لاحداثية واحدة . وابطس مثال لذلك هو التدفق في انبوب . لكن الحقيقة يجب ان يكون للتابع بعدين

(احداثيين) لان سرعة السوائل تتعلق كذلك في مكان النقطة المختبرة بالنسبة الى محور الانبوب .

التدفق في التوربينات (الحجرة الحلزونية للتوربين كذلك أنابيب السحب) هو حادثة لها ثلاثة أبعاد أو احداثيات .

ونظرا لان الاساس النظري المعلوم في هذه الايام هو وحيد وغير كاف لذلك ومن الواجب وجود الحلول او البحث عن تلك المشكلة العلمية المتعلقة بالصدمة الهيدروليكية عن طريق الطرق التجريبية المعدلة على أساس معادلة ذات بعد واحد .

ظهر مفهوم الصدمة الهيدروليكية في أواخر القرن التاسع عشر . وكان من مؤسسي هذه النظرية هما اثنان احدهم روسي الاصل . prof . Zukousky/5/ والمهندس الايطالي ALLIEVI / 1 / وتوصل الاثنان الى نتائج متقاربة مع اختلاف وتباعد اماكن تواجدهم وكانت النتيجة المتقاربة اول معادلة تفاضلية حركية

$$g \frac{\partial h}{\partial x} = \frac{\partial v}{\partial t} \quad (1)$$

وثاني معادلة تفاضلية (ثبات وزن السائل)

$$a^2 \frac{\partial v}{\partial x} = g \frac{\partial h}{\partial t}$$

حيث g تسارع الجاذبية

a سرعة الموجة الواحدة .

$$\frac{\partial h}{\partial t} \text{ زيادة ارتفاع الضغط بالنسبة للزمن}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} \text{ زيادة السرعة بالنسبة للزمن}$$

$$\frac{\partial h}{\partial x} \text{ زيادة ارتفاع الضغط بالنسبة للموقع (موقع النقطة)}$$

$$\frac{\partial v}{\partial x} \text{ زيادة السرعة بالنسبة للموقع}$$

وصحة هاتان العلاقتان مستمرة وهما أساسيتان .

من أجل التطبيقات العملية لهاتين المعادلتين يجب حلها أولا أى

تكاملهما . وقد قام بذلك ALLIEVI/5/ وتوصل الى التالي :

$$h = h_0 + F \left(t - \frac{x}{a} \right) + f \left(t + \frac{x}{a} \right) \quad (3)$$

$$v = v_0 - \frac{g}{a} \cdot F \left(t - \frac{x}{a} \right) + \frac{g}{a} \cdot f \left(t + \frac{x}{a} \right) \quad (4)$$

حيث h ارتفاع الضغط في نقطة ما وزمن ما

v السرعة في نقطة ما وزمن ما

$F \left(t - \frac{x}{a} \right)$ ثابت تكاملي

$f \left(t + \frac{x}{a} \right)$ ثابت تكاملي

h_0 ارتفاع الضغط في حالة جريان مستمر وثابت

v_0 السرعة في حالة جريان مستمر وثابت

وينتج من تلك المعادلات بان ارتفاع الضغط h وكذلك السرعة v

في نقطة ما (اية نقطة) وكذلك لحظة ما (اية لحظة) هما معطيان

بواسطة التابعان F و f والمتعلقان فقط بالشروط النهائية (الطرفية)

للحالات .

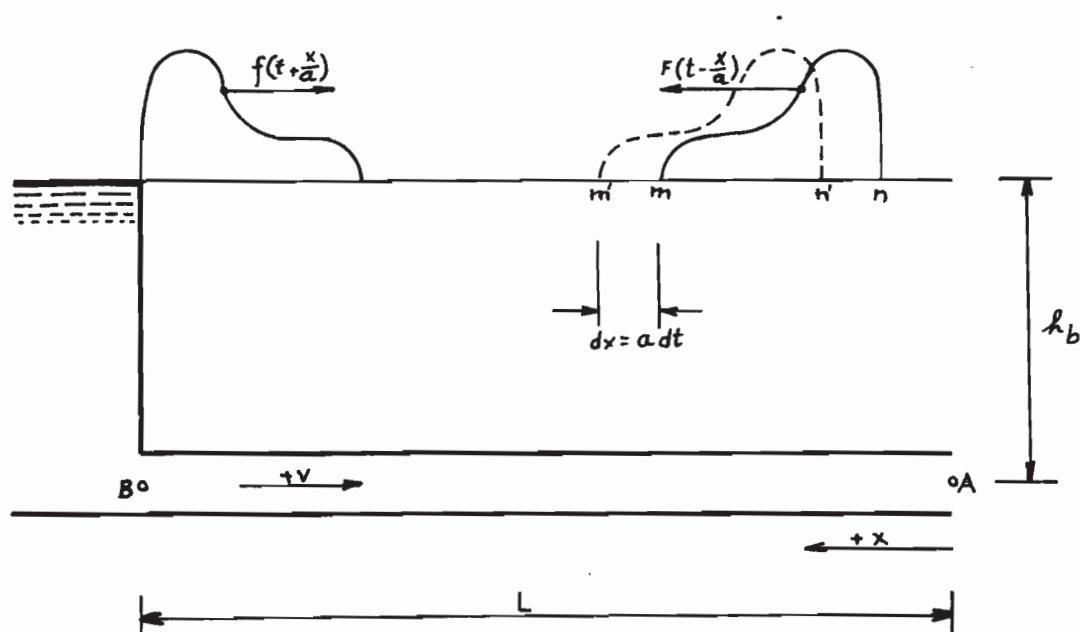
ان التابعان $F \left(t - \frac{x}{a} \right)$ و $f \left(t + \frac{x}{a} \right)$ هما تابعان تكامليان ويمثلان

فيزيائيا موجات الضغط المتحركة في الانابيب انظر الشكل رقم (١) - واذا

فحصنا هذين التابعين التكامليين في مجالات زمنية محددة .

$$t_0; t_1 = t_0 + T; t_2 = t_0 + 2T \dots$$

$$t_n = t_0 + nT$$



وإذا كان $t_i - t_{i-1} = T$ حيث $T = \frac{2L}{a}$ وتدعى بـ زمن إعادة ضغط الموجة الواحدة من طرف الانبوب الى الطرف الاخر ذهابا وايابا أو دور الموجة نحصل على المعادلة .

$$h_1 + h_2 - 2h_o = \frac{a}{g} (v_1 - v_2)$$

...

وتسمى تلك المعادلات بمعادلات ALLIEVI وتحدد العلاقة بين الضغط h_i

$$h_B - h_O = \text{ثابت (1), (3)}$$

ويتحقق نفس الشيء عند تتابع الحل المنطقي لموجة الضغط الهيدروليكي في مجالات متتابعة .

ولحل اية حالة يجب كتابة معادلاتها مع الاخذ بعين الاعتبار الحالات الخاصة اى الشروط المعطية (البدائية) وكذلك الشروط النهائية (الطرفية) حيث نأخذ بالحسبان حسب ALLIEVI تحقيق شروط معادلة Benouli حتى في حال الجريان الغير ثابت .

مشاكل التجهيزات والتجارب :

ان احدى طرق تجريب أو قياس تطور الصدمة الهيدروليكية تكون بانشاء تجهيزات التجارب (الالات) بحيث تأخذ بعين الاعتبار كافة الشروط والخواص الطرفية (النهائية) لكل حالة مع العلم بأن التجهيزات الهيدروليكية المتوفرة لاتستطيع قياس جميع الخواص الطرفية .

ان تجهيزاتنا الجديدة لم تكن موديل مصغر لمشكلة الصدمة الهيدروليكية المحددة ولكنها كانت تجهيزات اصيلة (Original) مع العلم بأننا قد أخذنا بعين الاعتبار مشاكل الصدمة الهيدروليكية وثبت ذلك من النتائج التي توصلنا اليها .

ولامكانية متابعة تغير ضغط ظاهر اقترحنا بأن تكون مواد الانابيب المجربة غير معدنية اى من مواد بلاستيكية PVC. اخترنا مقطع الانابيب بقطر 100 mm صنع شركة بلاستيكانتيرا .

خواص الانبوب هي التالي :

- الوزن النوعي $1,35-1,40/\text{kg} \cdot \text{cm}^3$
- مقاومة الانعطاف $88,3 \cdot 10^6/\text{Pa/}$
- مقاومة الشد الوسطية $7,85-24,53 \cdot 10^6/\text{Pa/}$
- مقاومة الضغط $55,9-108 \cdot 10^6/\text{Pa/}$
- عامل المرونة للشد $9,81-28,43 \cdot 10^8/\text{Pa/}$

ولفت نظرنا من جميع هذه الخواص قيمة عامل المرونة لان مجاله واسع واعتمادا على نتائج تجارب اختبارية اجريناها توصلنا الى نتيجة وهي بان صانع تلك الانابيب حدد القيمة السابقة بالضبط لذلك وعندما اجرينا تجاربنا اخذنا ثلاث قيم لعامل المرونة وهي الوسطى والطرفيتان .

وصف تجهيزات الاختبار :

تم تركيب التجهيزات في خندق كبير في مختبر مركز الابحاث فـي براثيسلافا (4) ومن اجل اعطاء فكرة توضيحية لعمل كل قسم فـي التجهيزات / انظر الشكل ٢ / سنشرح ذلك بالوصف التالي :

دخول الماء الى الجهاز كان عن طريق شبكة المياه العادية ذات القطر 100 mm وكان الجهاز مجهز بصنبور اغلاق 100 V وكذلك بمأخذ قطره 50 mm وصنبور اغلاق 50 V وذلك من اجل التحكم الدقيق بكمية التدفق . وصنبور الاغلاق هذا كان يصب في حجرة تساوى المستويات والمصنوعة من انبوب من الفولاذ قطره 400 mm وارتفاعها الانشاء فـي 4500 حيث كان في القسم العلوى مثبت جهاز من اجل الكميات الفائضة وذلك من اجل الحصول على ضغط هيدروليكي ثابت . عمل الجهاز موضح بالشكل رقم ٢ / .

في الحجرة المذكورة وعلى ارتفاع 600 mm من قاعدتها وصلت بانبوب قطره 100 mm وطوله 4962 cm وهذا الانبوب يصب في قسم مغلق والحاوي على جهاز الاغلاق اى جهاز الاغلاق المخروطي .

التحكم بجهاز الاغلاق كان هيدروليكي (بواسطة جهاز زيت kompresor) حيث كان مجهز بجهاز من اجل القراءات لزمن الاغلاق وكان من الممكن التحكم بذلك خلال 15 - 0,2 ثانية .

خروج المياه من قسم الاغلاق كان بواسطة انبوب ويصب في قسم حجرة التنظيم المصممة كحجرة تيلسكوبية للمعايرة الدقيقة للتدفق .

تم قياس التدفق بواسطة السقوط النوعي لـ Thompson حيث انتقلت المياه المتدفقة من حجرة التنظيم بواسطة الانابيب .

حساسية هذا الجهاز كانت لتدفق $0,0-0,006044 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

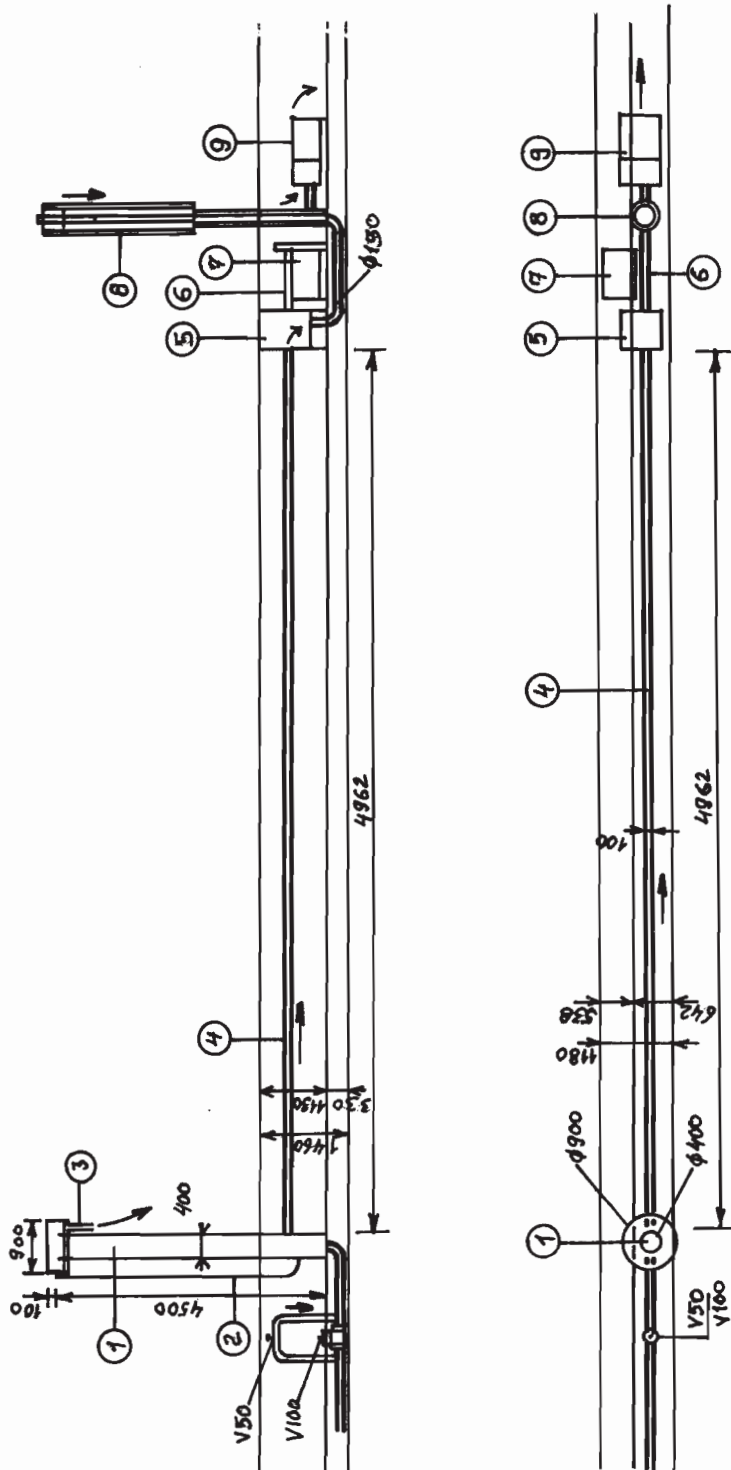


Fig.2.

اسلوب البحث :

عندما بحثنا زيادة الضغط في انبوب الاختبار تابعنا تلك الزيادة على انواع مختلفة من التدفق وكذلك زمن اغلاق مختلف واخترنا لذلك من اصغر الى اكبر قيم يعني ذلك اننا استعملنا لكل نوع من التدفق عدة قيم لزمن الاغلاق . وقسنا كذلك الزيادة في الضغط على شريط تنزومتري نوع G 350 حيث كان ملصق على المقاطع المقاسة وذلك في منطقة قبل الاغلاق ووسط الانبوب المختبر .

الابعاد بين المقاطع النوعية كانت كل 24 m ولصقنا كذلك الشريط التنزومتري في منطقة القياس وذلك لفصل التأثيرات الحرارية ورطوبة الجو . وصلنا مناطق القياس من خلال جسر تنزومتري TDA-3 على 3006/DL oscilograf حيث اشر بواسطة مؤشر على ورق خاص الى الزيادة في الضغط وهكذا حصلنا على تلك القيم في نقاط القياس وكذلك على زمن الاغلاق .

تقييم النتائج :

لتقييم النتائج انطلقنا من تعليمات الاستعمال للجسر التنزومتري TDA-3 والذي حصلنا عليه من مركز ابحاث العربات ذات المحرك في براغ / 2 / وحسب طريقة الاستعمال كان 1 mm من اشر التجربة على الورق يعني الاجهادات الموافقة للعلاقة .

$$\sigma = \frac{C}{A.K.X.P} E.10^{-3} / N.m^{-2} /$$

حيث C حساسية الجسر الموضوعة بـ $\frac{\Delta R}{R} \%$

A قيمة المعاييرة بـ mm

K حساسية تشوه التنزومتر بـ %

X عامل وصل الجهاز ومن اجل تنزومتر فعال X=1

E عامل مرونة المادة المقاسة بـ Nm^{-2}

P ثابت يتعلق بنوعية مقاومة التنزومتر شكل / ٣ /



Fig.3.

وبما ان قيمة المعايرة توافق فقط المجال المتوضع بالضبط على التنزومتر أو مقاومات تبديلية بقيمة 120Ω لذلك ومن اجل استعمال مجالات مختلفة للتنزومتر يجب الاخذ بعين الاعتبار عند تقييم النتائج فرق المعايرة اى حاصل ضرب النتيجة بثابت المعايرة P .

ومن اجل قيم المقاومة المستعملة لدينا تكون $P = 0,928$ وهذه

القيمة محسوبة حسب تعليمات الجهاز المذكورة .

الاجهاد الحاصل يقدر بـ N.m^{-2} حسب علاقة ضغط السوائل .

$$P = \rho \cdot g \cdot h$$

حيث ρ الوزن النوعي

g تسارع الجاذبية

h ارتفاع عمود الماء

وهذه القيمة نضيفها مباشرة الى الزيادة في الضغط الموافقة لارتفاع

عمود الماء . ونحسب الاضافة من اجل تسهيل مقارنة النتائج الحاصلة عن

طريق الحساب وكذلك التجربة .

النتائج المحصلة وتقييمها :

قيمنا النتائج التي حصلنا عليها خلال اجراء التجارب وهذه النتائج المتمثلة بالشريط المصور أو المؤشر والذي حصلنا عليه من كل قياس كانت مجالاته معطاة لعدة حلول والناجحة من جهاز التجريب .

وعند اختبار التدفق انطلقنا من استعمال تدفق أصغر قيم الى اكبرها مع اختيار اوقات الاغلاق مختلفة لكل تدفق.

كذلك تابعنا الزيادات للضغط في القسم الاخير وفي منتصف انبوب الاختبار

كما ذكرنا سابقا .

وكمثال لتقييم النتائج وكذلك لحساب قيم الاجهاد الموافقة لـ 1 mm

من ورق التصوير (التأشير) عند السدادة .

كان التدفق $Q = 0,001081 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

وزمن الاغلاق $T_s = 9\text{s}; 3,6\text{s}; 1,2\text{s}; 0,3\text{s}$

انظر الشكل رقم / ٤ /

والمعلومات الاساسية للمقاطع النوعية كانت

مقطع نوعي	c %	A/mm/	K %	X	P	E.10 ⁸ /Pa/
مكان الاغلاق	0,5	72	2,13	1	0,928	9,81-18,62
وسط	0,5	70	2,13	1	0,928	28,43

ومنه

$$= \frac{C}{A.K.X.P} E.10^{-3} = \frac{0,5}{0,072.2,13.1.0,928} \cdot 9,81.10^4 = 34520 / \text{N.m}^{-2}$$

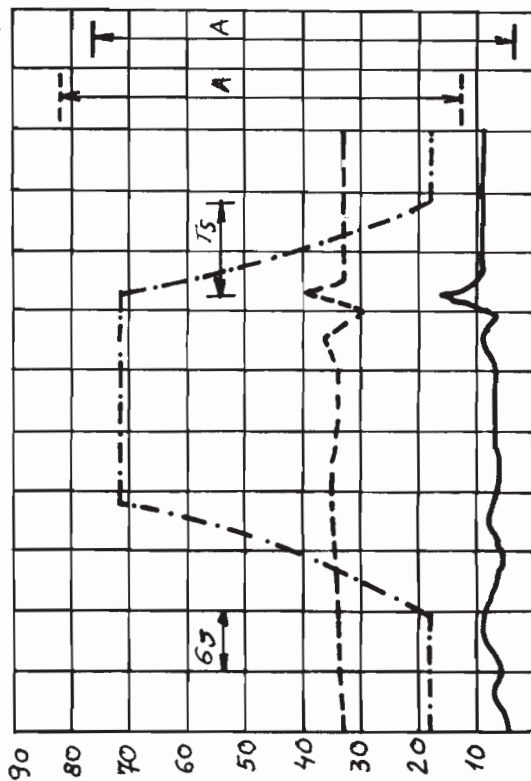
$$h = \frac{\sigma}{\rho \cdot g} = \frac{34520}{1000 \cdot 9,81} = \frac{35,211 \text{ m}}{0,035211 \text{ mm}}$$

متر للشريط

مليمتر للشريط

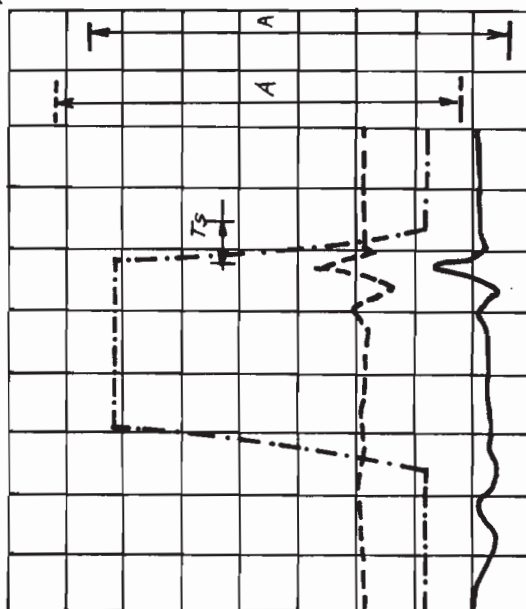
$$Q = 0.001081 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$T_s = 9.0 \text{ s}$$



1

$$T_s = 3.6 \text{ s}$$

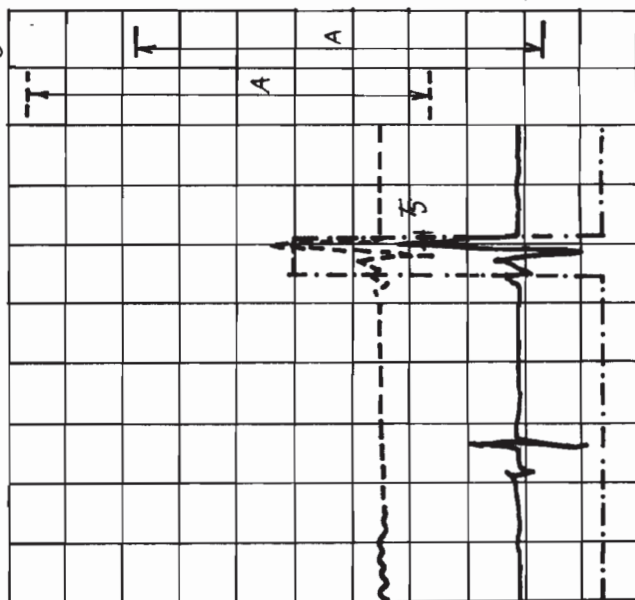


2

— END (close)
 --- MIDDLE
 -.- ENCLOSURE TIM

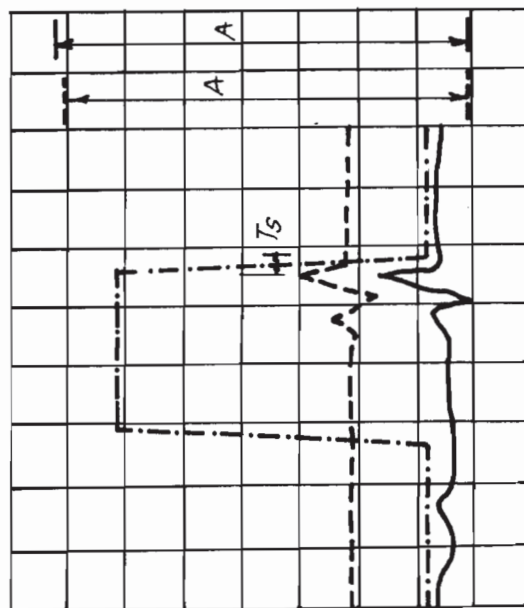
Fig. 4.

$T_s = 0,3s$



4

$T_s = 1,2s$



3

Fig. 4

اما زيادة الضغط الاعظمية لافقات مختلفة للاغلاق في منطقة القياس موجودة
في الجدول رقم (١) .

ومن القيمة الموضحة في المثال السابق ينتج بأن زيادة الضغط تتعلق
مباشرة في زمن الاغلاق ولها تأثير اساسي وخاصة للقيم الصغيرة حيث الضغط
يزداد بسرعة .

اما عند زمن الاغلاق الاكبر فتكون زيادة الضغط اصغر بكثير ولا يتطلب
ذلك متطلبات كبيرة من انبوبة الادخال لذلك يجب التفكير بما يلي : كل
زيادة ضغط وارتفاع مستواها في المقاطع المقاسة من اجل نفس المعطيات تكون
مختلفة .

في حالتنا هذه وفي منتصف القسم المقاس كانت الزيادات خلال اوقات
قصيرة اصغر بحوالي % 25 .

ونظن بأنه حسب قياساتنا توصلنا الى شيء جديد وذلك بفضل استعمال
الشريط الترنزومتري وفوائد ذلك مؤكدة لانهم مثلا لا يؤثرون على تجانس المواد
ومكان اخذ الماء اى لا يخفضون ضغط الماء . مثل اساليب السبر الاخرى المتبعة
لانه عند قياس الاجهادات الديناميكية ليس من الصحيح القول بأن ذلك
غير اساسي .

وينتج مما سبق بأن اسلوبنا هذا واقعي حتى في حالات القياس على
الاجهزة المائية الموجودة اى المآخذ ولمقارنة النتائج التي توصلنا اليها
قياسيا وحسابيا كنا قد حسبنا التغير في الضغط في أنابيب الاختبار بشكل
رياضي واستعملنا لذلك ابسط انواع الطرق المتبعة لذلك وهي حل اول معادلة
حركية تفاضلية اساسية $1/5, 1/3, 1/1$ والتي بعد تعديلها مع

الاخذ بعين الاعتبار تأثير الضياع الناتج من الطول تأخذ الشكل التالي :

$$\Delta v = \frac{g}{a} \left(\Delta h + \frac{v^2}{C^2 \cdot R} a \cdot \Delta t \right)$$

حيث g تسارع الجاذبية

a سرعة ضغط الموجة

Δv زيادة السرعة

Δh زيادة ارتفاع الضغط

Δt المجال الزمني المختبر

v السرعة

C عامل السرعة

R نصف القطر الهيدروليكي

ومن العلاقة بين التدفق في الانبوب والسرعة ينتج

$$Q = S(v_0 + \sum \Delta v)$$

وحيث Q التدفق في الانبوب

S مساحة مقطع التدفق

v_0 السرعة في تدفق ثابت

Δv الزيادة في السرعة

وكذلك ومن المعادلة التي تعبر عن الشرط الطرفي (النهائي) فهي

النهاية السفلى للانبوب مع الاعتبار انه يسكب في الفراغ .

$$Q = Q_0 \frac{S'}{S_0'} \sqrt{\frac{h_0 - h_z - h_v + \sum \Delta h'}{h_0 - h_z - h_v}} = Q_0 \frac{S'}{S_0'} \sqrt{\frac{h_0' + \sum \Delta h'}{h_0'}}$$

حيث Q التدفق في الانبوب عند السكب اي في النهاية

Q_0 التدفق في الانبوب

S' المساحة الحقيقية لمقطع التدفق عند السكب

S_0' مساحة التدفق في الانبوب

h_0 ارتفاع الضغط

$$h_0' = h_0 - h_2 - hv$$

$$hz = \frac{(v_0 + \sum \Delta v)^2}{C^2 \cdot R}$$

$$hv = \frac{(v_0 + \sum \Delta v)^2}{2g}$$

سرعة الارتفاع L طول الانبوب

ومما سبق ينتج بان حل مجموعة المعادلات هذه بطريقة التجريب حلا طويلا لذلك اوجدنا من اجل الحاسب الالكتروني WANG 2200 E حيث كانت المعطيات محسوبة / 4 / كذلك على جهاز التجريب وهما محسوبين وموضحين على الشكل / 5 / من اجل النهاية وفي الشكل رقم / 6 / من اجل وسط الانبوب .

ومن المقارنة ينتج بانه بين النتائج الحاصلين عليها من القيم المقاسة والنتائج المحسوبة حسب العلاقات الرياضية توجد بعض الخلافات البسيطة والموضحة والمفسرة كذلك . وهذه الاختلافات تعود لاسباب دقة الجهاز (شريطة التنزومتري ، القطعة المكثفة ، وسطيا امواج طويلة ، الجسر التنزومتري ، المقوي و Oscilognat) ومن جهة اخرى لاننا اعتبرنا الحساب بان الجهاز عبارة عن قطعة واحدة مع العلم بان بعض الزيادة في الضغط كانت متأثرة الى حد ما باتصال المفصل في الجهاز مع بعضها البعض (قساوة اكبر وعامل المرونة) .

خاتمة:

ومما سبق ينتج بانه اذا اخذنا بعين الاعتبار باننا استعملنا ادوات وتجهيزات جديدة وكذلك اسلوب جديد للقياس فان نوعية المواد المستعملة في الانابيب هي الخاصة الاساسية للتأكد من اجل الاجهادات

الديناميكية . ونفهم من ذلك ان يكون للمواد تجانس افضل وهذا هو العامل الاساسي الذي يضمن لنا التغلب على الزيادات في الضغط الناتجة عن الصدمة الهيدروليكية ويكون ذلك بعامل مرونة المادة .

ومعروف لدى الجميع بانه استعملت مواد اخرى للانابيب غير المواد الكلاسيكية مع العلم بان هذه المواد تقوم بنفس المهمة . نتيجة الخبرة وكذلك الحاجة الى الاقتصاد في المواد القليلة . كنا مرغمين للتفتيش عن مواد جديدة ومثال ذلك هو امكانية الاستعمال الواسع والصحيح لمواد او انابيب PVC من اجل اغراض مائية . ويجب كذلك الانسـى المردود الاقتصادي الكبير واهمية ذلك .

TAB. 1

TIM	End (close) h [m]			Middle h [m]		
	E=9,81.10 ⁸ Pa	18,62.10 ⁸ Pa	28,43.10 ⁸ Pa	9,81.10 ⁸ Pa	18,62.10 ⁸ Pa	28,43.10 ⁸ Pa
Ts /s/						
9	0,4577	0,9154	1,3732	1,0144	2,0290	3,0434
3,6	0,4929	0,9859	1,4788	0,90578	1,8110	2,2173
1,2	0,5633	1,1267	1,6901	1,12317	2,2464	3,3695
0,3	1,1619	2,3239	3,4858	1,1594	2,3188	3,4782

Le parlamen — corps 10 — Tableau corps 8 — Hayat

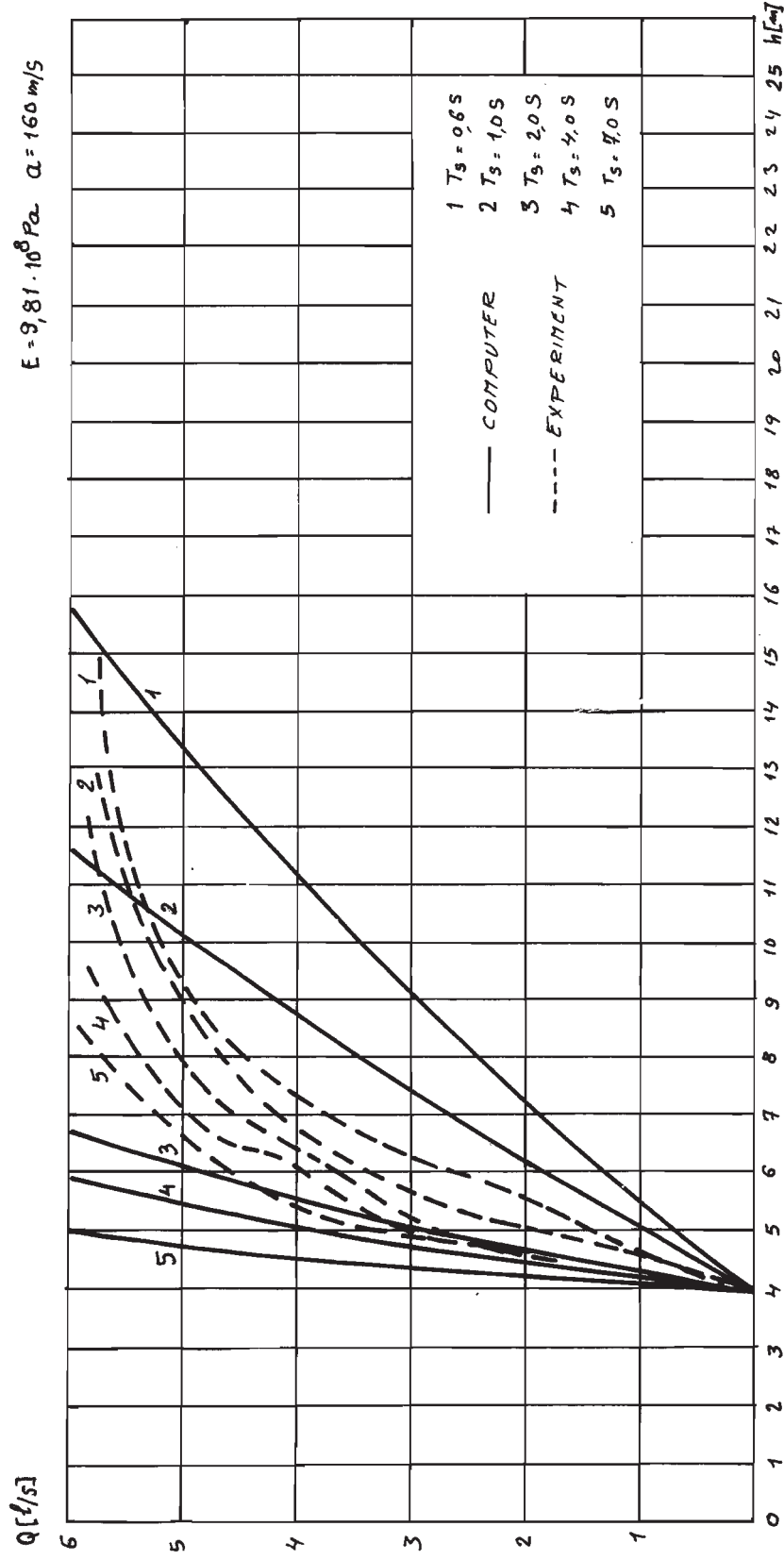
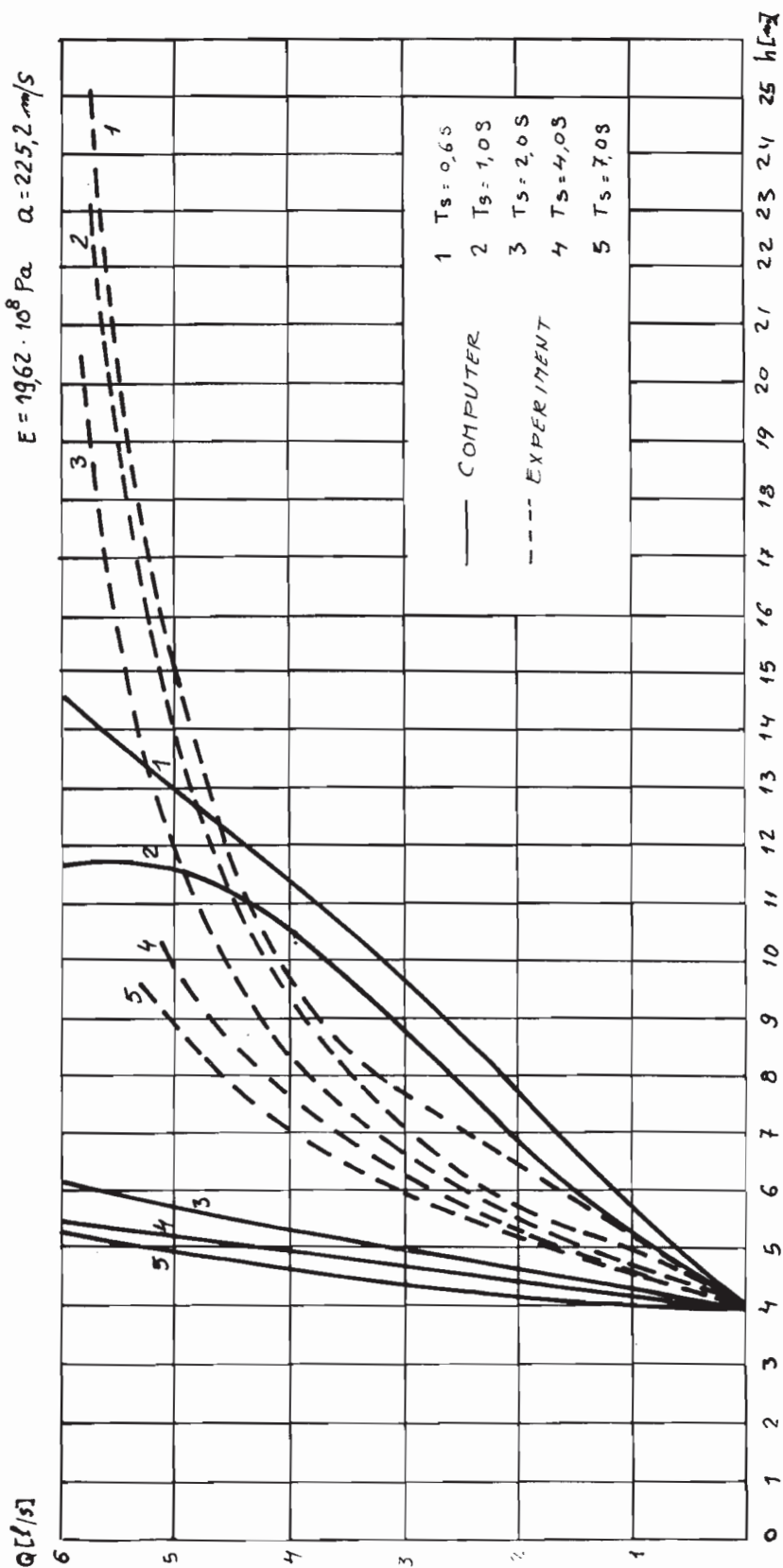


Fig. 5a

$$E = 1962 \cdot 10^8 \text{ Pa} \quad \alpha = 225,2 \text{ mm/s}$$



$$E = 29,43 \cdot 10^8 \text{ Pa} \quad \alpha = 274,5 \text{ m/s}$$

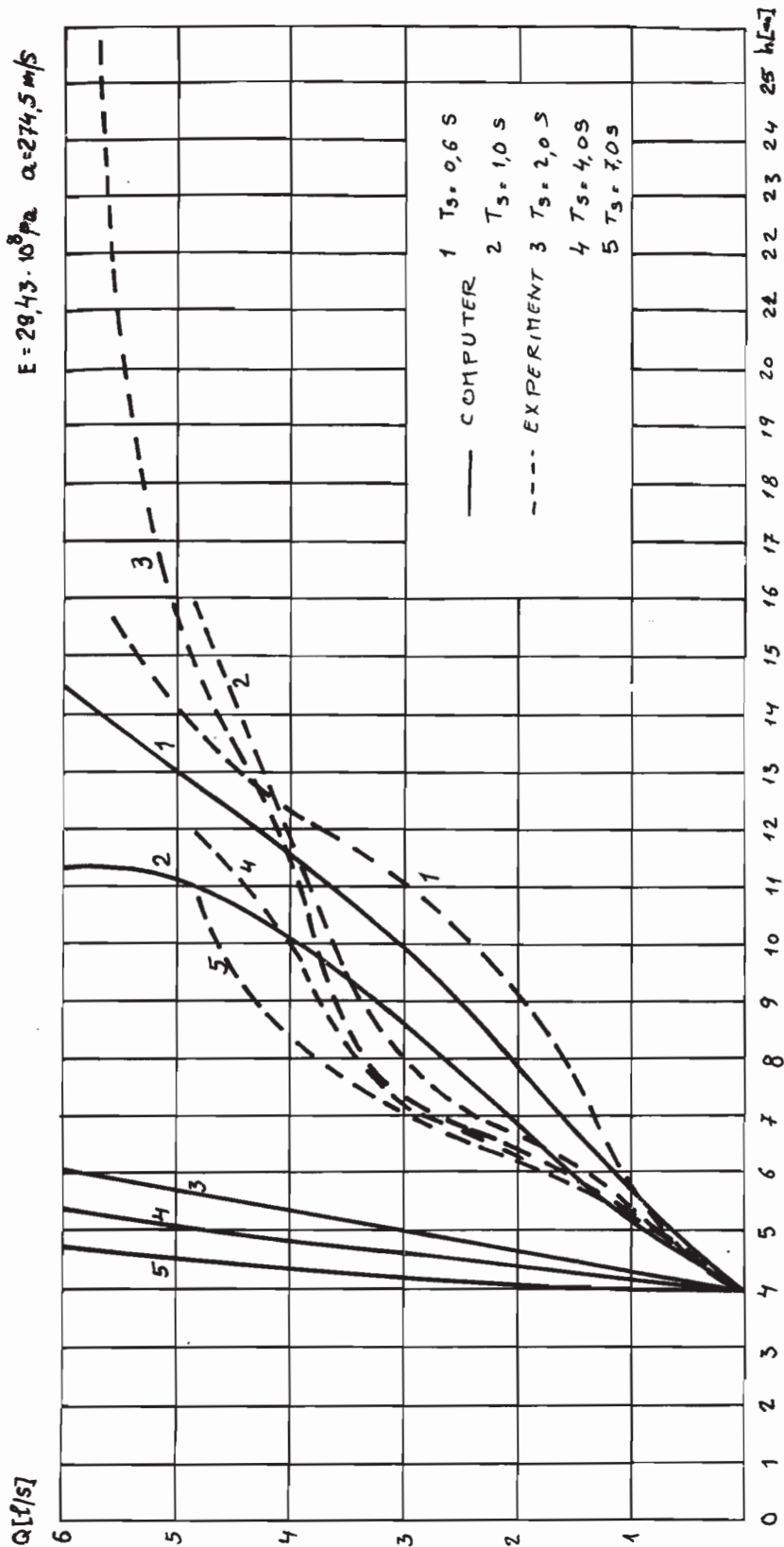


Fig. 5.c

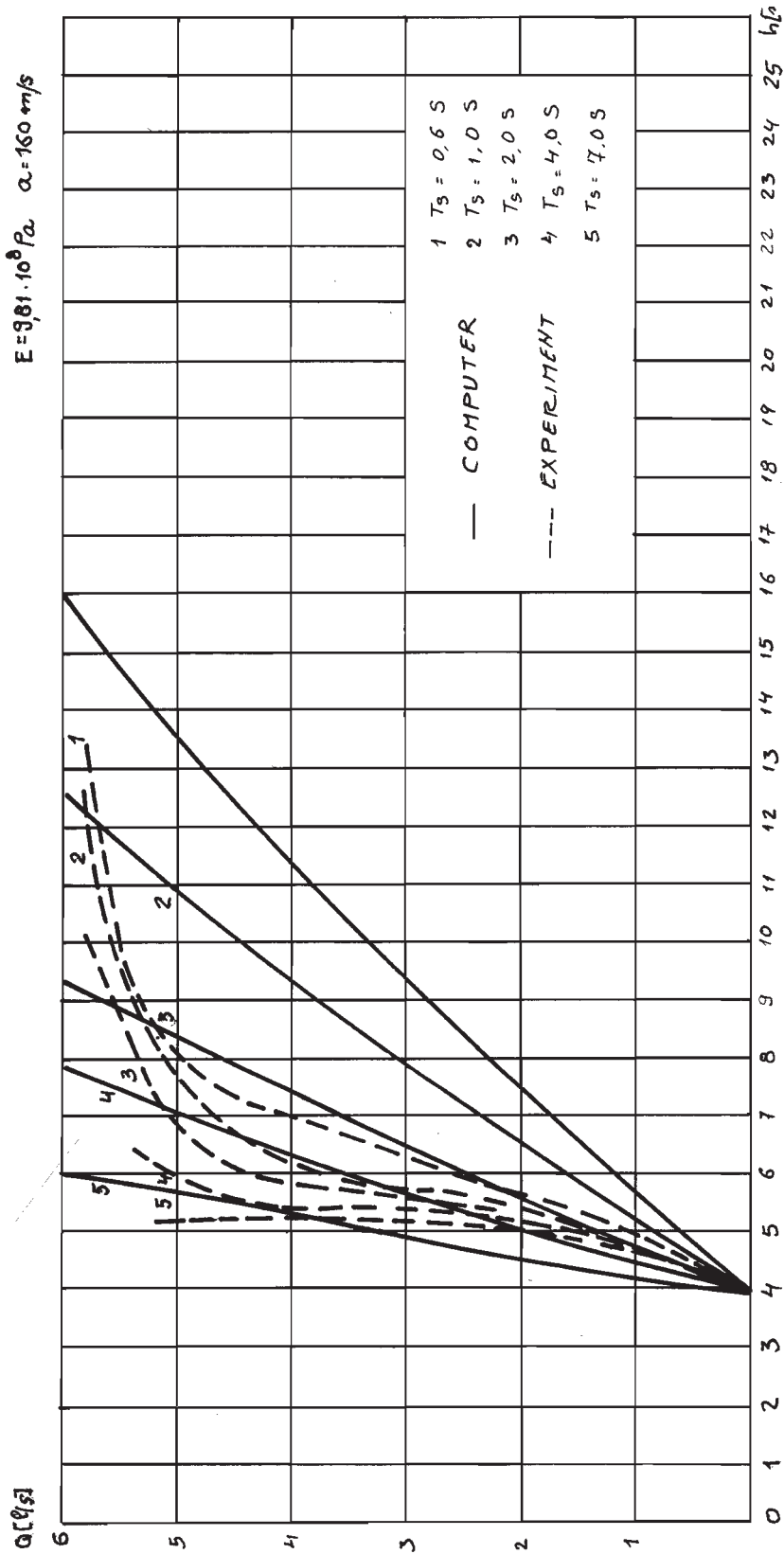


Fig. 6.a

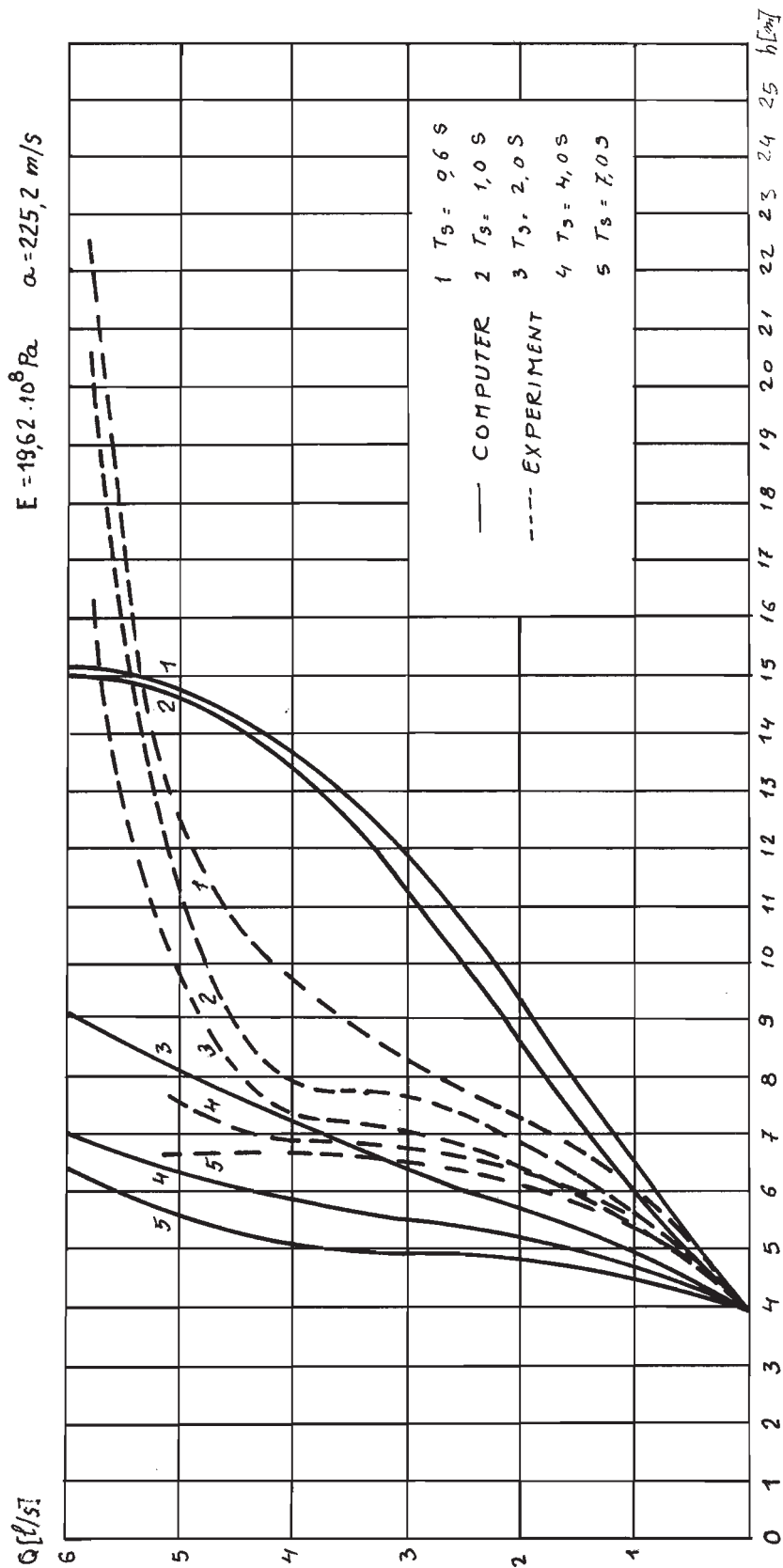


Fig. 6.b

$E = 29,43 \cdot 10^8 \text{ Pa}$ $\alpha = 274,5 \text{ cm/}^\circ\text{C}$

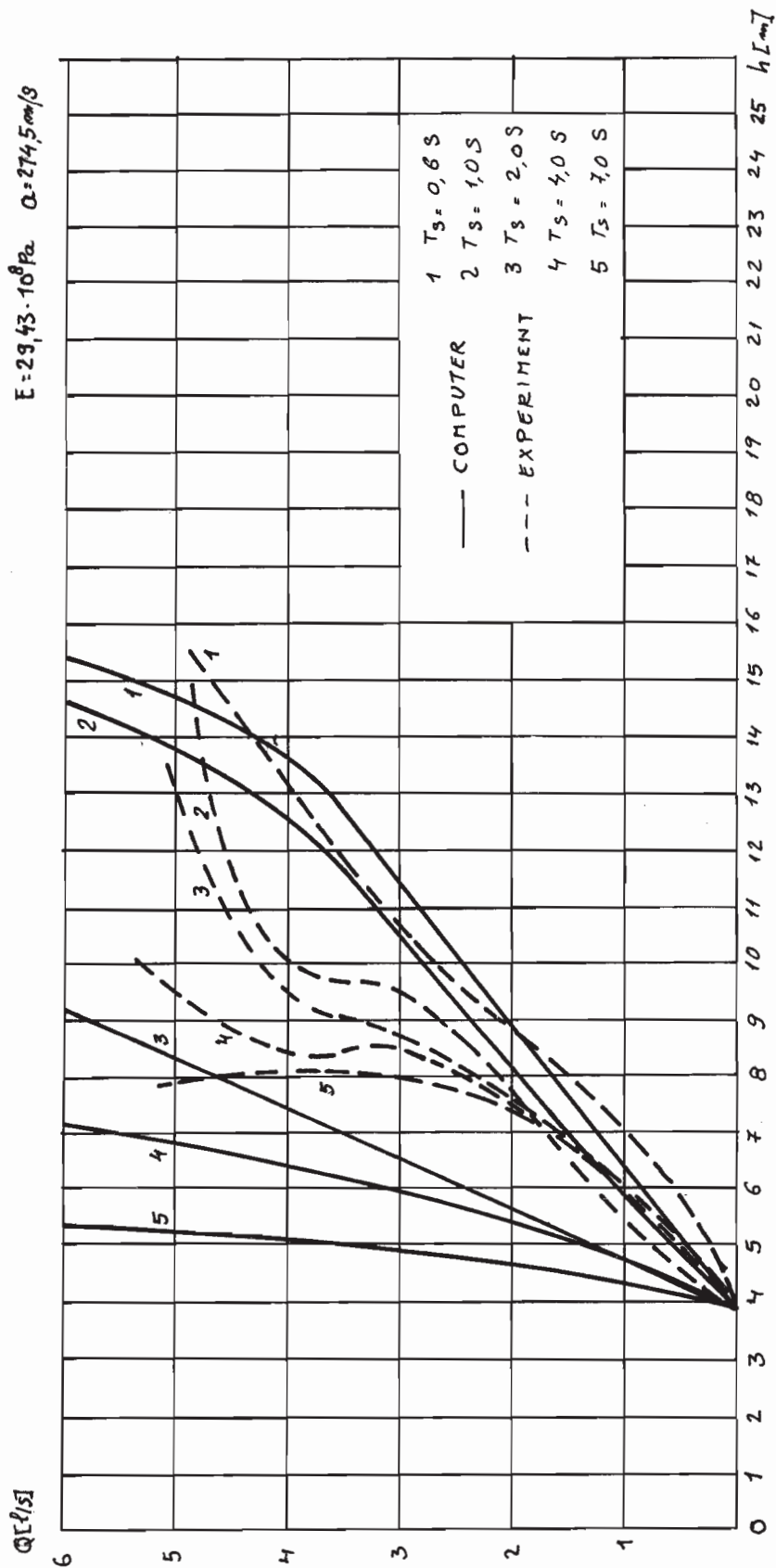


Fig. 6.c

Literature

- 1 - Allievi L. General theory of variable water motion in pings , Berlin 1909 .
- 2 - Manual for operation of the tensometric bridge TDA- 3 . motor vehicle institute, prague 1961 .
- 3 - Nechleba M . Water turbines , their construction and accessories , Prague 1954 .
- 4 - Vodzinský V - Influence of piping - material and construction - and manipulation on the course of hydraulic impact , /Candidates dissertation work/ Bratislava , SvF SVST, 1976.
- 5 - Zhukovsky N.E.

Fig.1. Course of pressure waves in the piping as a physical imagination of motion of the integration functions .

L - pipe length, h_0 - pressure height , v - velocity, $f(t + x/a)$ $F(t - x/a)$ - integration functions .

Fig.2. Scheme of the experimental equipment , 1 - compensation chamber , 2 - glass tube , 3 - discharge from overflow , 4- measured pipe, 5-closure equipment, 6- control mechanism - sealing equipment, 7- oil system, 8-regulation chamber , 9 - Thompson measure weir .

Fig.3. Zero setting and scale dimension when using the
tensometric bridge TDA - 3 .

Fig.4 Course and increasements of pressure in the -
centre and closure of the measured piping

Fig.5. Course of pressure increasements in the closure
of the measured piping .

Fig.6. Course the pressure increasements in the centre
of measured piping .