

Métodos y equipos para la medición de la presión de cilindro en máquinas de pistón.

p-V 1.0 y PicopV 1.0

Software para crear diagramas p-V con DiaW - Diagrama para Windows

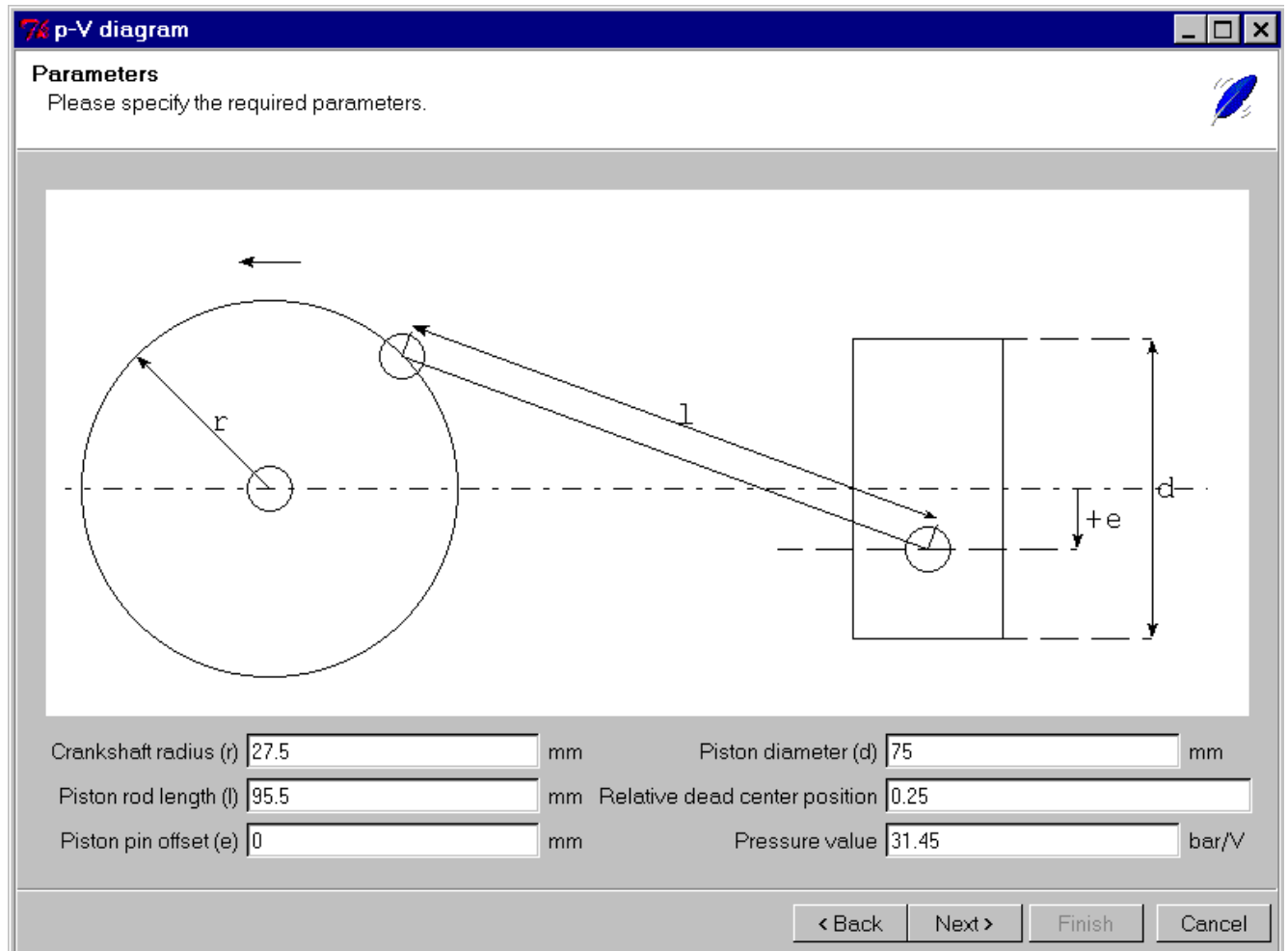


Figura 1

Área de aplicación

En máquinas de pistón como bombas, compresores y motores con combustión interior o exterior, un medio de presión (gas o líquido) presiona sobre uno o varios pistones. Cuando un pistón se mueve, éste produce o consume trabajo. A continuación se describen métodos y equipos para determinar este trabajo.

Durante un ciclo de trabajo de una máquina de pistón, éste realiza un movimiento de vaivén una o dos veces, es decir que realiza dos o cuatro carreras. El movimiento del pistón modifica el volumen de la cámara que forman el cilindro y el pistón.

En la ciencia de la termodinámica se describe el comportamiento de una determinada masa de gas constante durante el cambio de su volumen a través del diagrama p-V, que representa la presión del gas en función del volumen del gas:

$$p = f(V)$$

Esta función depende de más condiciones, sobre todo del flujo de calor que pasa al gas o que sale del gas durante el cambio del volumen.

P. ej., si se reduce el volumen del gas (el gas se comprime), el gas recibe trabajo mecánico.

...

Si el gas es comprimido y después se expande de nuevo a su volumen original, pero la presión es inferior p. ej. durante la compresión que durante la posterior expansión, las líneas funcionales $p = f(V)$ para la compresión y expansión son diferentes y forman un lazo. En este ejemplo, el gas consume durante la compresión menos trabajo mecánico que entrega durante la expansión, es decir que hay una sobra de trabajo mecánico la cual el ciclo compuesto de compresión y expansión ha hecho pasar después de su final a la pared de la cámara que encierra el gas.

El lazo formado por las dos curvas funcionales para $p = f(V)$ describe el ciclo compuesto por la compresión y la expansión en el ejemplo utilizado. La superficie debajo de cada una de las curvas funcionales representa el trabajo consumido o recibido por el gas. Por consiguiente, la diferencia entre las dos superficies, es decir la superficie encerrada por el lazo, visualiza el trabajo consumido o entregado al final del ciclo.

Dado que en una máquina de pistón es el pistón la pieza de la pared que se mueve y encierra el gas durante la compresión y expansión, éste entrega durante la compresión y recibe durante la expansión aquel trabajo que el diagrama p-V indica como superficie debajo de las correspondientes curvas funcionales. Por esto, el diagrama p-V indica a través de la diferencia de estas dos superficies, es decir a través de la superficie encerrada por las curvas funcionales, el trabajo mecánico producido o consumido por la máquina de pistón en el cilindro medido durante el ciclo de trabajo estudiado.

Dicho de otra manera:

Si la presión en el cilindro y, por consiguiente, la fuerza que presiona sobre el pistón durante una carrera de pistón son distintas a la presión, o fuerza, de la carrera posterior, o con mayor exactitud:

si la presión sigue durante dos carreras de pistón consecutivas a diferentes funciones de la posición de pistón, el pistón ha recibido al final de un ciclo compuesto por las dos carreras trabajo del medio de presión gas o líquido, o el pistón ha entregado trabajo.

En procesos de dos tiempos, el diagrama p-V está compuesto por dos curvas funcionales que forman un lazo; en caso de tratarse de un procesos de cuatro tiempos, hay cuatro curvas funcionales, que forman dos lazos.

No obstante, el diagrama p-V sólo describe el comportamiento termodinámico de un gas mientras la masa del gas en el volumen permanezca constante, es decir mientras el cilindro quede cerrado.

Por eso, el diagrama p-V no es capaz de indicar el volumen desplazado por el medio de presión durante el cambio de gas de un motor de combustión o en caso de una bomba con líquido prácticamente incompresible, sino sólo la posición del pistón.

Lo mismo es aplicable a un motor de combustión interior en caso de no aspirarse la mezcla terminada de combustible y aire de combustión, sino de inyectarse el combustible después de comenzar la compresión del aire de combustión.

En la práctica se mide la presión del cilindro en función de la posición del pistón:

$$p = f(s \text{ proporcional } \Delta V)$$

De la multiplicación del cambio de la posición del pistón por la superficie del pistón se obtiene el cambio del volumen.

Por consiguiente, de la superficie encerrada por las curvas funcionales $p = f(s)$ multiplicada por la superficie de pistón resulta el trabajo que ha proporcionado o consumido el ciclo de trabajo descrito por las curvas.

Por otro lado, de la presión de cilindro multiplicada por la superficie de pistón resulta la fuerza que presiona sobre el pistón.

Para simplificar las cosas, en lo que sigue también se denomina como „diagrama p-V“ un diagrama con curvas funcionales para $p = f(s \text{ proporcional } \Delta V)$.

En máquinas de pistón de marcha lenta en los que se puede medir el movimiento de los pistones directamente, se ha venido grabando y se sigue grabando en parte incluso en nuestros días la presión de cilindro en función de la posición del pistón por trazadores de coordenadas, que son accionados directamente por el movimiento de los pistones y por la presión. Estos trazadores son denominados como „Indicador“; por consiguiente, el diagrama producido por el trazador $p = f(s)$ recibe el nombre de „Diagrama de indicador“ y las magnitudes que hacen efecto en el pistón „presión indicada“, „potencia indicada“ y „trabajo indicado“.

...

Hoy son varias las razones por las que no se permite la aplicación de estos indicadores mecánicos en la mayoría de los casos:

Los movimientos de los pistones y los cambios de presión son demasiado rápidos. Además, la frecuencia de los cambios de presión que han de esperarse ha aumentado mucho más que la frecuencia de los movimientos de pistón, ya que la combustión interior puede producir fluctuaciones de presión con elevada frecuencia („golpeteo“).

El trazado de un indicador no es conveniente para el procesamiento automático de datos.

Las máquinas de pistón de hoy transforman casi en su totalidad el movimiento de los pistones en un movimiento giratorio de un cigüeñal, pero durante el servicio, los propios pistones ya sólo son accesibles directamente en muy pocos casos.

Por los motivos descritos en lo que antecede, los dispositivos actuales para la composición de diagramas p-V se distinguen de la siguiente forma del indicador preferentemente histórico:

La presión es captada por un sensor de presión piezoeléctrico.

En vez de la posición del pistón, se capta la posición giratoria de la manivela por un transmisor de giro incremental con la suficiente resolución (resolutor/resólver).

Es uso habitual activar con cada paso giratorio o después de cada n pasos giratorios del resolutor la memorización del valor de medición de la presión.

Este estado de la técnica presenta desventajas:

1. La posición giratoria de la manivela ha de ser transformada matemáticamente para obtener la posición del pistón.
2. Es trabajoso y puede ser difícil conectar el resolutor necesario con la manivela.
3. La tasa de exploración de la memorización de valores de medición es proporcional al número de revoluciones de la manivela. Esto no es favorable para el examen de oscilaciones cuya frecuencia no dependa del número de revoluciones, ya que si queda fijada un cantidad determinada de mediciones por revolución, la tasa de exploración puede hacerse demasiado pequeña en los números de revoluciones más bajos en relación con la frecuencia de la oscilación de interés.

Control de indicación y programas de usuario „p-V“ y „PicopV“

Por regla general, la desventaja 1 ha perdido importancia con el procesamiento automático de datos. Son también los programas de usuario descritos aquí „p-V“ y „PicopV“ los que transforman la función memorizada $p = f(\text{Ángulo giratorio } \varphi)$ en la función $p = f(s \text{ proporcional } \Delta V)$ y calculan el trabajo indicado. Para este fin, el usuario puede introducir los datos necesarios a través de la geometría y la cadena de medición de presión de cilindro (véase la Figura 1).

Aparte de esto, la salida automática de los resultados de „p-V“ o bien „PicopV“ hacia el programa de usuario „DiaW - Diagrama para Windows“ proporciona al usuario cómodas posibilidades de presentación en la pantalla y de composición de informes impresos (véanse las Figuras 2 y 3).

Las desventajas 2 y 3 se evitan a través de la combinación del control de indicación con los programas de usuario „p-V“ o bien „PicopV“.

Estas combinaciones permiten el uso de una división mucho más basta, por regla general el dentado en la rueda volante, en vez de un resolutor Si la tasa de exploración es suficiente y si se dispone de la correspondiente capacidad de memoria del dispositivo de registro, esta variante no causa ninguna pérdida de exactitud respecto a la información sobre la posición giratoria.

En vez del resolutor serán suficientes dos simples sensores, de los que uno explora una marca para el punto muerto superior de la manivela y el otro, por regla general, el dentado en la rueda volante.

Sin embargo, si se desea o si es necesario, también se podrá utilizar un resolutor habitual en vez de los dos sensores para conectarlo con el control de indicación.

El dispositivo de registro puede ser elegido de acuerdo con las exigencias de la oferta de oscilógrafos de memoria y equipos de captación de valores de medición para PCs.

El diagrama p-V en la Figura 2 está basado p. ej. en la grabación con un osciloscopio de memoria de poca profundidad de memoria y baja resolución de valores de medición.

En general, un osciloscopio, que opcionalmente es capaz de visualizar el valor de medición directamente de forma analógica o de memorizarlo de forma digital para visualizar el valor almacenado, ofrece la ventaja que el usuario puede controlar en servicio analógico directo si se pueden perder oscilaciones de presión debido a una exploración demasiado lenta de los valores de medición o si se pueden alterar demasiado. Por supuesto, también se podrá realizar para este fin una conexión en paralelo de un osciloscopio analógico respecto a las entradas de un sistema digital de captación de valores de medición asistido por PC.

Contrariamente a la Figura 2, el diagrama p-V en la Figura 3 está basado en la grabación con un PC provisto de un equipo de captación de valores de medición con gran profundidad de memoria y elevado grado de resolución de valores de medición.

El programa de usuario de PC „p-V“ forma de un archivo almacenado en un PC con valores de medición de presión y con información sobre la posición giratoria del cigüeñal (esta información es compuesta por el control de indicación al recibir los valores de medición) el diagrama p-V y calcula de éste el trabajo que el ciclo de trabajo representado mediante el diagrama p-V ha proporcionado o consumido.

Por consiguiente, se podrán evaluar a través de este programa valores de medición que ya hayan sido almacenados en un proceso de medición anterior. Una evaluación de este tipo también podrá ser realizada además de los diferentes métodos tradicionales, sin servirse del procesamiento automático de datos, por lo que podrá ser parte de un ejercicio práctico. Por consiguiente, ha de recomendarse un equipo de demostración con „p-V“ para la formación profesional, ya que los estudiantes pueden reconocer de esta manera los diferentes pasos de procesamiento y en parte también los pueden efectuar ellos mismos como alternativa.

Actualmente, „p-V“ puede ser suministrado en una versión que procesa archivos del osciloscopio de memoria que forma parte del alcance del suministro.

El informe representado en la Figura 2 ha sido realizado con „p-V“ sobre la base de valores de medición almacenados en un osciloscopio de memoria y transmitidos después a un ordenador (PC).

Contrariamente a „p-V“, el programa de usuario de PC „PicopV“ controla en combinación con el control de indicación la grabación en curso de los valores de medición de diferentes ciclos de trabajo, forma de ello diagramas p-V, los evalúa y calcula un valor medio del trabajo indicado de los ciclos de trabajo. Esta formación del valor medio es importante por las posibles diferencias entre los diversos ciclos de trabajo, también en caso de presentarse una carga constante de un motor de combustión.

Respecto a los ciclos evaluados, „PicopV“ visualiza de forma gráfica en la pantalla del PC lo siguiente: respecto al tiempo, señales para la presión de cilindro y la información correspondiente a la posición del cigüeñal, el correspondiente diagrama y fluctuaciones del trabajo indicado de los ciclos evaluados.

La frecuencia con la que se reciben y evalúan ciclos de trabajo por „PicopV“ es determinada por la velocidad de trabajo del PC.

Gracias a estas funciones, „PicopV“ no se limita a las aplicaciones en la formación profesional, sino que permite una realización y documentación de pruebas sin necesidad de emplear demasiado tiempo en ello.

Actualmente, „PicopV“ puede ser suministrado en una versión que controla el equipo de captación de valores de medición conectable con un PC, perteneciente al alcance de suministro y con elevada tasa de exploración, gran capacidad de memoria y alta resolución de los valores de medición.

El informe representado en la Figura 3 ha sido realizado con „PicopV“.

Las versiones 1.0 de „p-V“ y „PicopV“ son convenientes para un cilindro de una máquina de pistón de 4 tiempos con sencillo accionamiento de manivela, también con pernos desplazados de pistón o de cruceta. Podrán suministrarse otras versiones con la correspondiente demora.

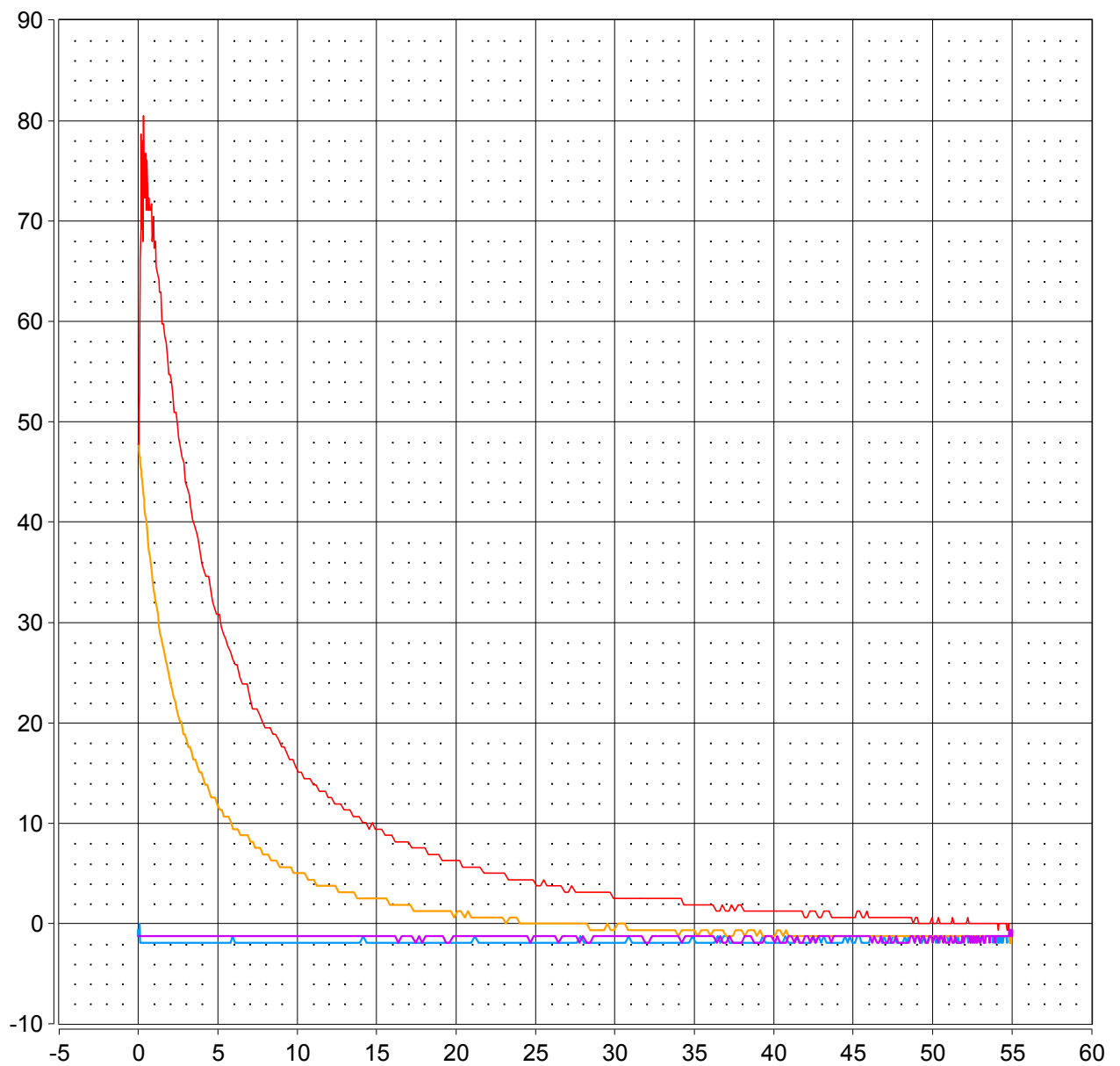
Weinlich GmbH & Co. KG

Industriestr. 6
D - 68799 Reilingen (cerca de Heidelberg)
Alemania

Teléfono 0 62 05 - 40 25
Telefax 0 62 05 - 1 77 44
int'l 49 62 05 -

email info@weinlich.de
Internet http://www.weinlich.de

10.851/2 E 3/10
tech10 \ 851e02



10.851/2 d Figura 2
Dieselmotor

p-V diagram

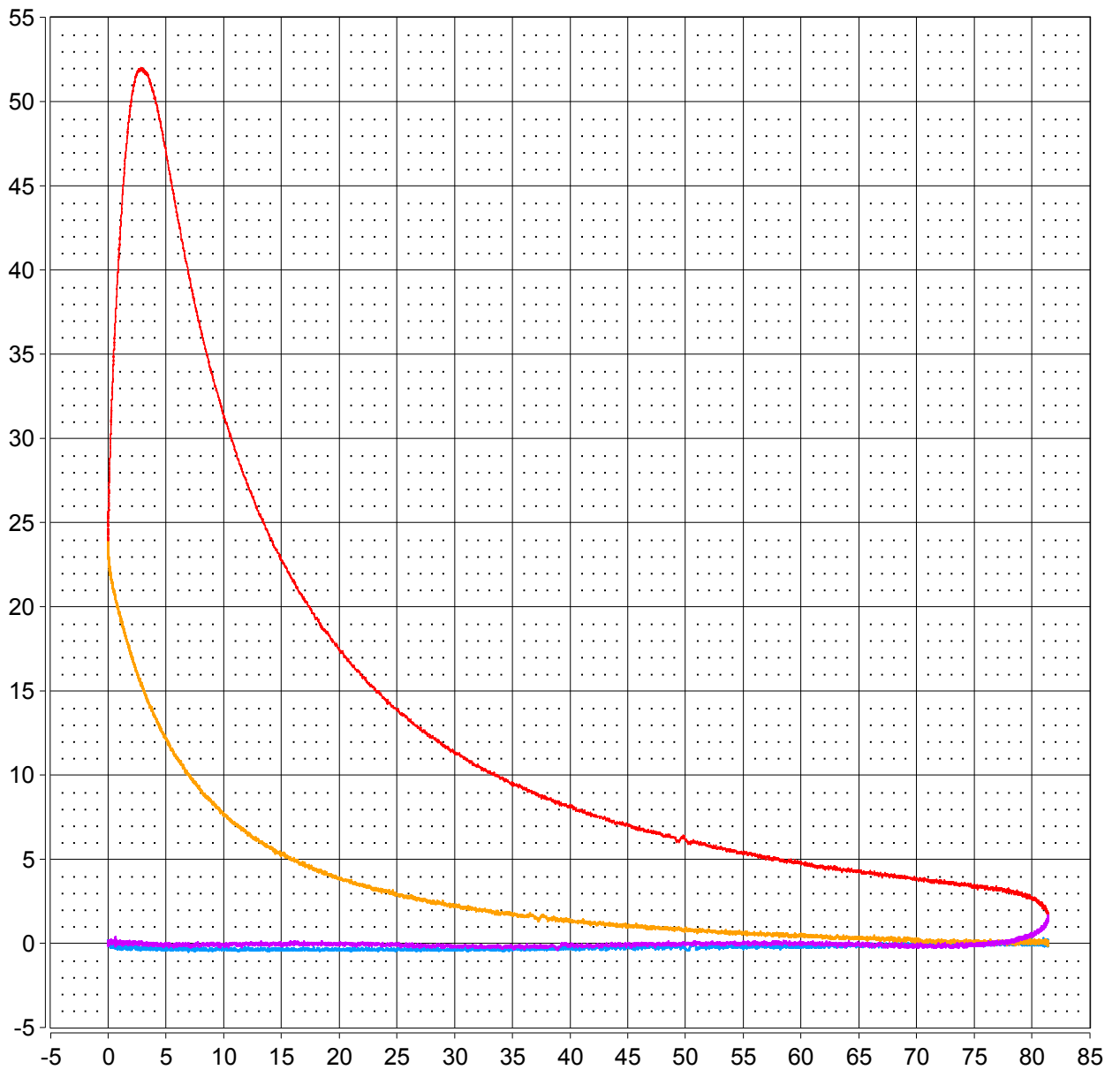
Crankshaft radius: 27.5 mm
 Piston rod length: 95.5 mm
 Piston pin offset: 0 mm
 Piston diameter: 75 mm
 Pressure value: 31.45 bar/V
 Relative dead center position: 0.25

Work: 150.7 J

10851b2

10851b2 X: s/mm Piston position

- 1: p/bar Ansaugen
- 2: p/bar Verdichten
- 3: p/bar Verbrennen, Entspannen
- 4: p/bar Auspuff



10.851/2 d Figura 3
Ottomotor

p-V diagram

Crankshaft radius: 40.7 mm
 Piston rod length: 137.0 mm
 Piston pin offset: 0.0 mm
 Piston diameter: 79.0 mm
 Pressure value: 29.94 bar/V
 Relative dead center position: 0.5683

Computed Work (this measurement): : 406.6 J
 Average Work (last 47 measurements): 402.1 J

10851b3
 10851b3 X: s/mm Piston position
 — 1: p/bar Ansaugen
 — 2: p/bar Verdichten
 — 3: p/bar Verbrennen, Entspannen
 — 4: p/bar Auspuff