

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 944 909**

51 Int. Cl.:

E01B 27/13 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.12.2016 PCT/EP2016/002185**

87 Fecha y número de publicación internacional: **03.08.2017 WO17129215**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.12.2016 E 16826704 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.03.2023 EP 3408450**

54 Título: **Procedimiento para la compactación del lecho de balasto de una vía férrea**

30 Prioridad:

26.01.2016 AT 342016

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

27.06.2023

73 Titular/es:

**PLASSER & THEURER EXPORT VON
BAHNBAUMASCHINEN GESELLSCHAFT M.B.H.
(100.0%)
Johannesgasse 3
1010 Wien, AT**

72 Inventor/es:

**HOFSTÄTTER, JOSEF y
PHILIPP, THOMAS**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 944 909 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para la compactación del lecho de balasto de una vía férrea

- 5 La invención se refiere a un procedimiento para compactar el lecho de balasto de una vía férrea mediante una herramienta de compactación puesta en vibración, registrándose como medida de la compactación del balasto las vibraciones introducidas en el balasto durante el proceso de compactación.
- 10 Conforme al documento AT 513 973 B1 se conoce un grupo bateador para compactar balasto en una vía férrea. En este caso, la posición de un cilindro auxiliar que proporciona herramientas de compactación se registra por medio de un transductor de desplazamiento. El control del cilindro auxiliar tiene lugar mediante un sensor de desplazamiento. Para lograr una compactación óptima del balasto, la amplitud de vibración y la frecuencia de vibración de las herramientas de compactación se modifican dependiendo de la posición auxiliar.
- 15 El documento AT 515 801 B1 se describe un número de calidad para la dureza del balasto. En este caso, la fuerza auxiliar de un cilindro auxiliar se representa en función de un camino auxiliar y se define un número indicativo a través del consumo de energía. En consecuencia, mediante este número indicativo se considera la energía suministrada al balasto a través del cilindro auxiliar. De esta forma, sin embargo, no se tiene en cuenta la energía que se pierde en el sistema.
- 20 A partir de los documentos CH 501 776 A y CH 585 314 A se conocen herramientas de compactación para compactar un lecho de balasto de una vía férrea. En este caso, las vibraciones se utilizan como medida de la compactación del balasto.
- 25 El documento GB 2 451 310 A da a conocer el control de un grupo bateador por medio de sensores dispuestos sobre cojinetes.
- 30 Sin embargo, una gran parte de la energía se utiliza para acelerar y frenar la herramienta de compactación. Con ello resulta una dependencia de la inercia de la masa entrante al cuadrado y la frecuencia de la herramienta de compactación vibrante. Como resultado, el número indicativo mencionado depende en primer término de la ejecución constructiva de la herramienta de compactación. Por lo tanto, no es posible una comparación con otras herramientas de compactación. Una desventaja esencial es que el número indicativo no permite hacer ninguna afirmación sobre el grado de compactación del balasto. Estrictamente hablando, solo se obtiene un número indicativo para una herramienta de compactación determinada.
- 35 El cometido de la presente invención es entonces crear un procedimiento del tipo mencionado al principio, con el cual sea posible un reconocimiento mejorado de la compactación del balasto que se puede lograr con las herramientas de compactación.
- 40 El procedimiento debe ser ejecutable con un grupo bateador que presente herramientas de compactación que se puedan poner en vibración, lo que permite una compactación uniforme del balasto.
- 45 El cometido se resuelve de acuerdo con la invención porque se registra una potencia de accionamiento de la herramienta de compactación a partir de una curva de presión de un accionamiento excéntrico o un accionamiento auxiliar y ésta se reduce por la potencia aparente de los accionamientos auxiliares, después de lo cual se calcula la potencia activa disponible en la herramienta de compactación para compactar el balasto.
- 50 Mediante las características de la invención es posible - con la exclusión ventajosa de pérdidas de energía constructiva - registrar la energía transferida directamente al balasto y, con ello, obtener un número indicativo significativo para lograr una compactación óptima del balasto. Con ello, la máxima fuerza de ajuste dinámico posible se puede encontrar justo por debajo de un valor límite. En consecuencia, el balasto no se destruye por una compactación excesiva y se excluye de forma fiable un flujo lateral muy desventajoso en la dirección longitudinal de la traviesa. Mediante la recopilación de datos de proceso adecuados, el tiempo de suministro y la fuerza de ajuste necesarios para la compactación pretendida se pueden dosificar de manera preestablecida.
- 55 Con las características del procedimiento según la invención, los aparatos de trabajo adecuados para la compactación del balasto pueden mejorarse generalmente de tal manera que en cada caso sea posible una declaración exacta (o bien número indicativo) con respecto al grado de compactación alcanzable. Con ello, también en el caso de diferentes máquinas compactadoras, bateadoras y estabilizadoras de vías férreas se puede lograr un estado de compactación óptimo.
- 60 El procedimiento según la invención puede llevarse a cabo por medio de un grupo bateador, en donde en la palanca de bateo y/o en la herramienta de compactación está dispuesto un sensor de la aceleración conectado a una unidad de control.
- 65

Con una optimización de un grupo bateador, que es estructuralmente muy fácil de implementar, se adapta la entrada de energía necesaria para el proceso de bateo se adapta al grado deseado de compactación del balasto y, con ello, se reduce su desgaste. Con esta invención, es posible una automatización del proceso de apisonamiento lográndose una calidad de compactación homogénea y soportes de traviesas homogéneos.

5 Otras ventajas de la invención resultan de las reivindicaciones dependientes y de la descripción del dibujo.

10 En lo que sigue se describe con más detalle la invención con ayuda de un ejemplo de realización representado en el dibujo. Muestran: La Fig. 1 una vista lateral simplificada de un grupo bateador que presenta dos herramientas de compactación que se pueden posicionar una respecto a la otra, la Fig. 2 una representación esquemática de una herramienta de compactación y la Fig. 3 señales de aceleración.

15 Un grupo bateador 1 representado de forma simplificada en la Fig. 1 para el bateo de balasto 3 de un lecho de balasto situado debajo de una vía férrea 2 consta esencialmente de dos palancas de apisonado 5 que en cada caso pueden pivotar alrededor de un eje pivotante 4. Éstas están unidas en un extremo inferior 6 en cada caso con una herramienta de compactación o bien diente de apisonado 7 previsto para penetrar en el balasto 3 y en un extremo superior 8 con un accionamiento auxiliar hidráulico 9.

20 Cada uno de los accionamientos auxiliares 9 está apoyado sobre un árbol 11 de la excéntrica que puede girar mediante un accionamiento 10 de la excéntrica. Con ello se generan oscilaciones vibratorias, que se transmiten al balasto 3 a compactar a través del accionamiento auxiliar 9, la palanca de apisonado 5 y la herramienta de compactación 7. En el extremo inferior 6 de cada una de las palancas de apisonado 5 está dispuesto un sensor de la aceleración 13 conectado a una unidad de control 12. Alternativamente, este sensor también podría fijarse directamente a la herramienta de compactación 7.

25 En otra variante de ejecución de la invención, no representada en detalle, el sensor de la aceleración también podría estar dispuesto en una herramienta de compactación configurada como estabilizador de vía férrea y que hace vibrar la vía férrea.

30 Con ayuda del sensor de la aceleración 13, las vibraciones introducidas en el balasto 3 por las herramientas de compactación 7 durante el proceso de compactación se registran como una medida de la compactación del balasto. Para ello se miden las fuerzas de la aceleración que actúan directamente sobre la herramienta de compactación 7 y se aportan a la unidad de control 12 como señal de la aceleración.

35 Como variable de entrada en el sistema para determinar la calidad de la compactación sirve la aceleración de la herramienta de compactación oscilante o bien diente de apisonado 7. En el caso normal, ésta no ejecuta un movimiento armónico, sino que trabaja en un funcionamiento no lineal. Las fuerzas sobre el balasto 3 solo se transmiten en una dirección y los granos del balasto pueden levantarse de las superficies de los dientes. Con ello resultan saltos en la curva de fuerza que distorsionan la señal de la aceleración armónica.

40 Durante un movimiento auxiliar se puede calcular un grado de compactación máximo posible con el sensor de la aceleración 13 dentro de un intervalo de tiempo. Por lo tanto, se puede obtener la información de que el balasto 3 que se encuentra entre las herramientas de compactación 7 aún no ha sido compactado en un grado máximo correspondiente a un valor específico de la señal de la aceleración. En caso necesario, se puede iniciar otro proceso de apisonamiento. También se puede documentar de manera ventajosa que el grado de compactación se produjo de forma homogénea, en particular durante un tramo de apisonado más largo.

45 Las herramientas de compactación 7 que actúan como excitadores forman un sistema oscilante con el balasto 3 como resonador. La resonancia del sistema dinámico se modifica por la compactación, ya que se modifica la rigidez equivalente del sistema. Con ayuda de la respuesta de frecuencia del sistema dinámico, se puede evaluar la frecuencia de resonancia. También sería ventajoso rastrear la frecuencia de esta frecuencia de resonancia.

50 Como base para un contenido de oscilación armónica (OSG) y una potencia de una oscilación fundamental (LGS) sirve una señal de la aceleración del sensor de aceleración 13, que se envía a la unidad de control 12. Un espectro de densidad de potencia o bien la densidad de potencia espectral indica la potencia de una señal en relación con la frecuencia en una banda de frecuencias infinitesimal (valor límite nulo) ancha.

55 Las señales de la aceleración se deforman tan pronto como se produce una carga. Esto se visualiza calculando el espectro de densidades de potencia y se resume en el rango por debajo de 50 Hz para la potencia de la oscilación fundamental y por encima de 50 Hz para la potencia de la oscilación armónica.

60 Como medida de la compactación del balasto se utiliza el contenido de oscilación armónica (OSG). El OSG de una señal de aceleración básica sinusoidal armónica está influenciada por el comportamiento no lineal de la retroalimentación (reflexión) del balasto. El contenido de oscilación armónica se denomina magnitud adimensional e indica hasta qué punto la potencia de las oscilaciones armónicas se superpone a la potencia de la oscilación fundamental sinusoidal.

65

En la Fig. 3 se representan los resultados de una evaluación de la densidad espectral de potencia (o bien PSD, derivada de la densidad espectral de potencia). La curva en la Fig. 3a muestra la señal de la aceleración para una herramienta de compactación 7 descargada, las Figs. 3b y 3c en el caso de una compactación media o bien alta (en el eje x se indica en cada caso el tiempo t y en el eje y la aceleración). Una comparación muestra un cambio claro en la forma de la función seno. Aumentan los componentes espectrales de la señal de la aceleración en el rango de la oscilación armónica.

El curso de la densidad de potencia espectral de las tres señales de la aceleración presentadas se muestra en la Fig. 3d (el eje x corresponde a la frecuencia Hz, el eje y al espectro de densidad de potencia W/Hz). En el caso de la curva representada en línea continua, los principales componentes de frecuencia están a 35 Hz. En el caso de la curva caracterizada por líneas discontinuas se añaden varios componentes de frecuencia más alta y en el caso de la curva representada con líneas discontinuas incluso más componentes de frecuencia más alta. Estos componentes de frecuencia más alta son los responsables de la deformación de la señal de la aceleración originalmente sinusoidal.

Para determinar la densidad de potencia espectral, se seleccionan los componentes limitados en el tiempo de la señal de la aceleración y se aportan a una rutina de cálculo para el espectro de densidad de potencia. Con ello se calcula el espectro de densidad de potencia en la banda de frecuencia de 5 a 300 Hz.

El espectro de densidad de potencia está entonces disponible en función de la frecuencia:

$$S_{xx} = F(2 \cdot \pi \cdot f)$$

La determinación de la potencia tiene lugar integrando la densidad de potencia espectral sobre la gama de frecuencias deseado. La potencia de la oscilación fundamental (LGS) y el contenido de la oscilación armónica (OSG) se determinan de la siguiente manera:

$$LGS = \int_{f_0}^{f_1} F(2 \cdot \pi \cdot f) df$$

$$OSG = \frac{\int_{f_1}^{f_2} F(2 \cdot \pi \cdot f) df}{\int_{f_0}^{f_1} F(2 \cdot \pi \cdot f) df} = \frac{\int_{f_1}^{f_2} F(2 \cdot \pi \cdot f) df}{LGS}$$

El contenido de la oscilación armónica (OSG), que se correlaciona con la compactación existente en el balasto 3, se determina dividiendo la potencia de la oscilación armónica por la potencia de la oscilación fundamental (LGS). Esta cifra indicativa (OSG) indica qué tan grande es el componente de potencia de las oscilaciones armónicas en la señal de aceleración general.

Una frecuencia límite f1 situada entre la oscilación fundamental (LGS) y la oscilación armónica depende de la frecuencia de resonancia de la construcción mecánica del grupo bateador 1 y está determinada por el curso del espectro de densidad de potencia (PSD).

En lo que sigue se describe la evaluación de una señal de la aceleración. Las distintas magnitudes medidas para el recorrido auxiliar de las herramientas de compactación 7 y su tiempo de suministro se dividen en varios segmentos de tiempo. Para las distintas secciones, los valores característicos para LGS y OSG se determinan para la máquina de compactación 7 delantera y trasera con respecto a una dirección de trabajo de una máquina bateadora. Ventajosamente, el proceso de compactación o bien el movimiento auxiliar de las herramientas de compactación 7 se puede finalizar inmediatamente tan pronto como el valor característico OSG haya alcanzado una magnitud predeterminada.

Para determinar una potencia aparente sirve una potencia de accionamiento del accionamiento 10 de la excéntrica. Éste se registra por tecnología de medición mediante su perfil de presión y se resta la potencia reactiva de los accionamientos auxiliares 9, ya que la potencia se pierde en este punto.

Es necesaria una potencia activa para el cálculo de las fuerzas auxiliares de las herramientas de compactación 7. Además, la fuerza del balasto se determina utilizando la aceleración medida de la herramienta de compactación 7. Ésta es una indicación de la compactación del balasto. Básicamente, el proceso de trabajo de compactación del balasto se puede subdividir en las siguientes secciones: inmersión, posicionamiento y elevación de la herramienta de compactación 7. El proceso de compactación propiamente dicho tiene lugar durante el posicionamiento.

Durante el movimiento auxiliar de las herramientas de compactación 7, la estructura granular del balasto 3 se reagrupa. Con ello, la energía de compactación se transfiere desde la herramienta de compactación 7 al balasto 3. La energía absorbida en el balasto 3 provoca una reagrupación de la estructura granular y esto conduce posteriormente a una reducción del volumen de los poros. Si el movimiento del balasto se completa por debajo del umbral, se reduce la absorción de energía del balasto 3. Como resultado, las fuerzas aplicadas por la herramienta de compactación 7 se

reflejan más o bien la herramienta de compactación 7 opuesta se desacelera en mayor medida. La rigidez del balasto 3 aumenta al aumentar la compactación y las proporciones en las que se absorbe energía en el balasto 3 (amortiguación) disminuyen. Esto da como resultado una mayor fuerza de reacción a una fuerza de actuación de las herramientas de compactación 7. Si se logra así una buena compactación del balasto, se puede observar un mayor consumo de energía de la herramienta de compactación 7.

El valor medido representativo de la potencia activa (la potencia absorbida por el balasto) se puede obtener de diferentes maneras. Por ejemplo, la potencia de accionamiento se puede medir a través del par y el número de revoluciones del accionamiento 10 de la excéntrica y de esto se puede restar la potencia reactiva consumida en el propio sistema.

La potencia reactiva surge, por un lado, de las pérdidas por fricción internas y pérdidas de flujo en el sistema hidráulico, así como también dentro de los accionamientos auxiliares 9, que también sirve como protección contra sobrecarga limitadora de fuerza en el sistema. Si la limitación de potencia está activa, se consume más potencia reactiva. La potencia reactiva puede tener lugar midiendo la potencia en el accionamiento auxiliar 9. Para ello se requiere la fuerza del cilindro resultante, así como la velocidad a la que se desplaza el vástago del pistón con respecto al accionamiento auxiliar 9. La fuerza del cilindro resultante se puede determinar mediante dos sensores de presión en el accionamiento auxiliar 9. Se puede recurrir a un sensor de desplazamiento en el cilindro hidráulico para determinar la velocidad diferenciando el desplazamiento una vez.

La determinación de la potencia reactiva del cilindro auxiliar tiene lugar multiplicando las presiones medidas con las áreas correspondientes y la velocidad (recorrido diferenciado).

$$F_{hidr} = (p_A * A_A - p_B * A_B) \quad B_{aux} = F_{hidr} * \frac{dx}{dt}$$

La potencia reactiva del accionamiento auxiliar 9 también depende de la presión auxiliar seleccionada. La potencia reactiva total puede determinarse durante la puesta en funcionamiento en función del número de revoluciones, la presión adicional y la potencia aparente y puede almacenarse en una tabla multidimensional en la computadora. Con ello, solo es necesario determinar el par y el número de revoluciones para determinar una fuerza de impacto del sistema. Por lo tanto, la potencia introducida en el balasto 3 se puede calcular de la siguiente manera:

$$P_{balasto} = M_L * 2 * \pi * n_{an} - B_{aux}$$

En el caso de aparatos de compactación accionados hidráulicamente, puede ser conveniente utilizar la presión hidráulica del accionamiento 10 de la excéntrica para calcular el par o bien como magnitud de medida.

Durante la puesta en marcha inicial de una herramienta de compactación 7, el par de frenado o bien la pérdida de par pueden determinarse a través de escenarios de prueba especiales. En este punto se conoce la potencia que se transfiere al balasto 3. La magnitud de la fuerza de compactación, que es una indicación de la calidad de compactación producida, depende de las aceleraciones en la herramienta de compactación 7. Para el cálculo de la fuerza del balasto es necesario un modelo sustitutivo del aparato de trabajo correspondiente, en el caso de una máquina bateadora de la herramienta de compactación 7:

La ecuación dinámica de movimiento de la palanca de apisonado o bien brazo de dientes 5 se puede representar mediante el siguiente equilibrio de momentos:

$$I_{brazo\ de\ diente} * \frac{a_p}{r_a} = F_{hidr} * r_1 - F_{balasto} * r_2$$

F_{hidr} (véase la Fig. 2) puede medirse en línea (al equipar a las dos cámaras del accionamiento auxiliar 9 con sensores de presión) o también puede calcularse a partir de la potencia de accionamiento del accionamiento 10 de la excéntrica. La aceleración a_p se registra mediante técnicas de medición.

Para el siguiente paso de cálculo son necesarios la velocidad recorrida y el recorrido de la herramienta de compactación 7. Para la velocidad, la señal de la aceleración se integra una vez y dos veces para el recorrido.

La energía que fluye a través del diente de apisonado 7 hacia el balasto 3 durante la compactación se puede describir de la siguiente manera:

$$E_{diente}(t) = \int F_{balasto} * v_{diente}(t) * dt$$

5 La energía determinada de esta manera describe la absorción de energía del balasto 3 durante el proceso de compactación e indica una medida del grado de compactación respectivo. Si la entrada de energía converge hacia un valor determinado, el balasto 3 ya no se puede compactar más. Con el fin de equiparar entre sí el grado de compactación en el caso de diferentes tipos de herramientas de compactación 7, la energía aplicada a la superficie del diente de apisonado y las herramientas de compactación 7 en uso se normaliza de la siguiente manera.

$$E_{\text{diente norm}}(t) = \frac{1}{A_{\text{diente}} \cdot n} * \int F_{\text{balasto}} * v_{\text{diente}}(t) * dt$$

10 Si la entrada de energía durante la compactación converge hacia cero, entonces una fuerza de compactación es seguida por una deformación de acuerdo con una característica de resorte lineal. El balasto 3 ya no absorbe más energía y el comportamiento físico es el mismo que en el caso de una rigidez y se utiliza como módulo E del balasto para la vía férrea.

15 La rigidez, que corresponde al gradiente en un diagrama fuerza-desplazamiento, indica el comportamiento elástico del balasto 3. La determinación del módulo E del balasto 3 se calcula mediante una línea de regresión lineal con minimización de la media cuadrática.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para compactar el lecho de balasto de una vía férrea mediante una herramienta vibratoria de compactación (7), en el que
5 las vibraciones introducidas en el balasto durante el proceso de compactación se registran como una medida de la compactación del balasto, **caracterizado por que** se mide una potencia de accionamiento de la herramienta de compactación (7) a partir de un perfil de presión de un accionamiento (10) de la excéntrica o un accionamiento auxiliar (9) y éste se incrementa mediante la reducción de la potencia aparente de los accionamientos auxiliares (9), tras lo cual se calcula una potencia activa disponible en la herramienta de compactación (7) para compactar el balasto (3).
10
2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado por que** las fuerzas de aceleración que actúan sobre la herramienta de compactación (7) se miden y se aportan a una unidad de control (12) como señal de la aceleración.
3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, **caracterizado por que** la señal de la aceleración correspondiente a la compactación óptima del balasto se determina calculando la densidad de potencia espectral (PSD) como valor nominal de compactación y el proceso de compactación finaliza automáticamente cuando se alcanza el valor nominal de compactación.
15
4. Procedimiento según la reivindicación 3, **caracterizado por que** para la determinación de la densidad espectral de potencia (PSD) se seleccionan tramos limitados en el tiempo de la señal de la aceleración y se aportan a una rutina de cálculo para un espectro de densidad de potencia.
20
5. Procedimiento según la reivindicación 3, **caracterizado por que** el espectro de densidad de potencia se calcula en la banda de frecuencia de aproximadamente 5 a aproximadamente 300 Hz.
25
6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado por que** se determina una frecuencia límite f_1 dependiente de una construcción mecánica de la herramienta de compactación (7) entre una oscilación fundamental (GS) y una oscilación armónica (OS) de la señal de la aceleración.
7. Procedimiento según las reivindicaciones 3 a 6, **caracterizado por que** se calcula una potencia de la oscilación fundamental (LGS) y la oscilación armónica (LOS) integrando la densidad espectral de potencia (PSD) sobre una gama de frecuencias deseada.
30
8. Procedimiento según la reivindicación 7, **caracterizado por que** al dividir la potencia de la oscilación armónica (LOS) por la potencia de la oscilación fundamental (LGS) se determina un contenido de oscilación armónica (OSG) que se correlaciona con la compactación del balasto.
35
9. Procedimiento según la reivindicación 7, **caracterizado por que** al multiplicar la potencia de la oscilación fundamental (LGS) por un factor f especificado en función de una amplitud de reposo, se determina un grado de utilización del grupo (S_L) - que permite sacar conclusiones - sobre un estado del balasto.
40
10. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 9, **caracterizado por que** una fuerza de compactación de la herramienta de compactación que resulta de la potencia activa, es decir, la fuerza del diente de apisonado, se compara con una fuerza de reacción del balasto que resulta de la compactación del balasto y se finaliza automáticamente el movimiento auxiliar de las herramientas de compactación (7) después de alcanzar un valor límite.
45

Fig. 1

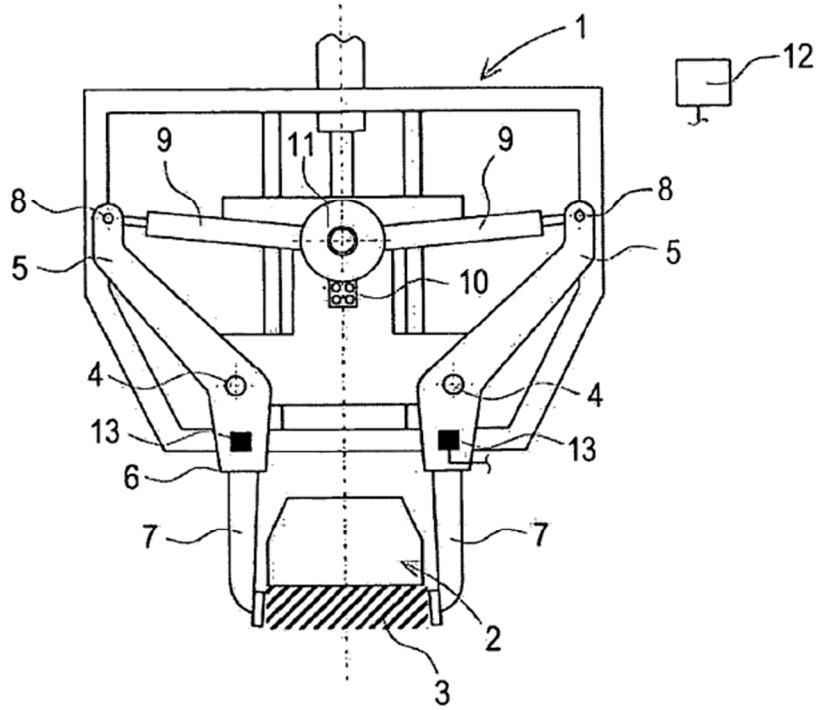


Fig. 2

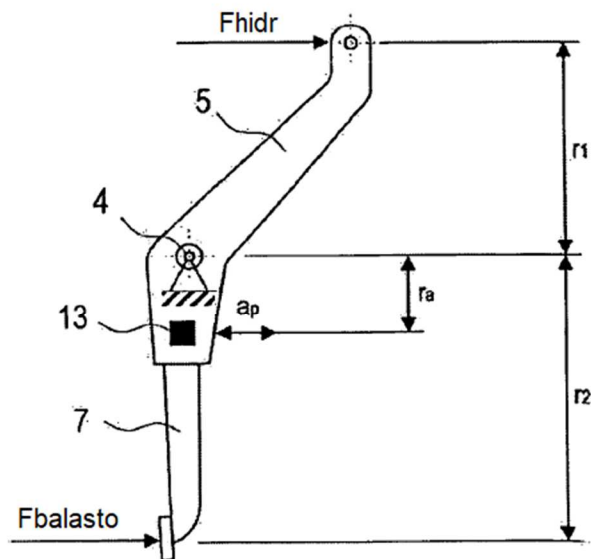


Fig. 3

