

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 775 756**

51 Int. Cl.:

E01B 29/04 (2006.01)
E01B 35/12 (2006.01)
B61K 9/08 (2006.01)
B61D 15/12 (2006.01)
B61L 23/04 (2006.01)
B61L 25/02 (2006.01)
G01B 21/30 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.01.2018** **E 18150046 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.12.2019** **EP 3358079**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo para medir y calcular una vía de ferrocarril**

30 Prioridad:

06.02.2017 AT 500942017

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

28.07.2020

73 Titular/es:

**HP3 REAL GMBH (100.0%)
Börsegasse 10/5
1010 Wien, AT**

72 Inventor/es:

LICHTBERGER, BERNHARD

74 Agente/Representante:

GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo

ES 2 775 756 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 y dispositivo para medir y calcular una vía de ferrocarril

La invención se refiere a un procedimiento para medir y calcular una vía de ferrocarril mediante un carro para medir la vía, apto para rodar sobre la vía, con por lo menos dos ejes de ruedas soportados en el bastidor de una máquina, y con un dispositivo para presionar las ruedas sobre el riel y un odómetro para medir la longitud de un arco del riel. Además, la invención se refiere a un dispositivo para medir una vía de ferrocarril con un carro para medir la vía, apto para rodar sobre la vía, provisto de las características arriba mencionadas.

Un procedimiento del tipo arriba mencionado como también un dispositivo del tipo arriba mencionado ya se conocen, por ejemplo, de los documentos WO 2016/090401 A1 o CN 105 316 986 A.

La mayoría de las vías para ferrocarriles están realizadas como superestructuras sobre balasto. En este caso, los durmientes están rodeados por balasto. A causa de las fuerzas actuantes transmitidas por las ruedas de los trenes que pasan por arriba de los durmientes, se producen asentamientos irregulares en el balasto y desplazamientos en la geometría posicional lateral de la vía. Debido a los asentamientos del lecho de balasto, se producen errores en la altura longitudinal, en el peralte (en el arco) y en la posición de alineación. Si se exceden determinados valores límite de confort o valores límite de seguridad de estas magnitudes geométricas, en tal caso se llevan a cabo tareas de mantenimiento.

La eliminación y corrección de estos errores geométricos de la vía ferroviaria se llevan a cabo hoy en día principalmente mediante máquinas para obras ferroviarias. Para que la vía ferroviaria pueda ser puesta nuevamente en servicio después de tales trabajos de mejora de la geometría de la vía ferroviaria, las máquinas para construir la superestructura de la vía ferroviaria están equipadas con los denominados "equipos de medidores de aceptación" y "equipos registradores de aceptación". Para la calidad de la vía ferroviaria después de su mejora mediante las máquinas para construir superestructuras u otros procedimientos, se han establecido tolerancias de aceptación. Estas tolerancias representan los requisitos mínimos para la calidad de las mejoras geométricas producidas. Estas mejoras se verifican mediante los equipos medidores de aceptación y los equipos registradores de aceptación.

Al respecto, los parámetros importantes dignos de mención que deben corregirse y registrarse son la torsión, la altura longitudinal de la vía ferroviaria, la dirección o posición lateral de la vía y la inclinación transversal o peralte de la vía. Una máquina para construir la superestructura de la vía ferroviaria, tal como una máquina apisonadora, restaura la geometría de la vía que se había deteriorado debido a las sollicitaciones dinámicas causadas por el tráfico de trenes. Para este propósito, se eleva y orienta la vía a su posición teórica mediante equipamientos de elevación y orientación controlados en forma electrohidráulica.

Cuanto menores sean los errores remanentes después de los trabajos de mantenimiento hechos con una máquina para construir superestructuras, tanto menores serán también las fuerzas interactuantes causadas por el tráfico de trenes, tanto más lentamente se deteriorará la geometría de la vía bajo el tráfico de trenes, y tanto mayor será la durabilidad de las vías del ferrocarril. Por lo tanto, es deseable aproximar la geometría de la vía lo más posible a su posición teórica, por cuanto de esta manera es posible ahorrar subsiguientemente costos y esfuerzos considerables. Cuanto más rápido circulen los trenes, tanto menores serán los valores de tolerancia permitidos. Para trenes en circulación, la corrección de los errores (las longitudes de onda de los errores son normalmente de 3 m a 70 m) es esencial. Las longitudes de onda de los errores para tener en cuenta dependen de la velocidad de la línea.

Para corregir los errores de las vías, se han concebido varios procedimientos de alineación de las vías de ferrocarril. Por una parte, hay procedimientos relativos que solamente suavizan el asiento de las vías y, por otra parte, hay procedimientos absolutos. En los procedimientos absolutos, los asientos de las vías se corrigen de acuerdo con geometrías teóricas preestablecidas. Las geometrías teóricas de las vías de ferrocarril están disponibles como planos de asientos de la vía y se pueden usar después de ingresarlas en el ordenador de control de la máquina para construir superestructuras, con el fin de calcular los errores sistemáticos, si se conoce el comportamiento de los sistemas de medición. Si se conocen los valores de corrección absolutos para el extremo frontal del dispositivo de medición de la máquina para obras ferroviarias, en tal caso, el extremo frontal del dispositivo de medición de la máquina para obras ferroviarias se guía en la curva teórica y el extremo posterior en la vía ya corregida. El proceso de alineación se lleva a cabo en el lugar de trabajo. Por lo general, la posición de la máquina apisonadora en el eje longitudinal de la vía se determina usando un odómetro.

Si no se conoce la geometría teórica, se suele medir mediante los procedimientos conocidos el asiento de la vía con un sistema de cuerdas para la alineación y con un sistema de cuerdas para la altura longitudinal antes del trabajo. En este contexto, la inclinación transversal real se mide con un péndulo. Los péndulos dependen de las aceleraciones que tienen lugar durante la realización del recorrido de medición. En particular, la aceleración centrífuga durante el recorrido de medición en el arco conduce a errores importantes. Esto limita normalmente la velocidad de medición a un valor de aproximadamente 5 km/h. La medición del asiento de la vía mediante sistemas de cuerdas adolece de una función de transferencia, es decir, la señal medida discrepa del error real de la vía en cuanto a su forma, amplificación y posición de fase. Los valores medidos son proporcionales a las curvaturas de la vía. La medición de la posición en

altura de la vía por medio de un sistema de medición de cuerdas también proporciona señales que son proporcionales a la curvatura y afectados por una función de transferencia. Los cambios en la inclinación (transición de una inclinación a otra) no pueden determinarse a partir de los datos de medición, ya que no es posible distinguir entre los errores de curvatura del asiento de la vía y entre las transiciones de inclinación que también se hacen notar como diferencia en la curvatura. Además, no es posible sacar conclusiones sobre la inclinación real a partir de las mediciones de curvatura de la altura (la máquina se halla en una determinada pendiente, pero no puede determinarla a partir de las mediciones, ya que todo el sistema de medición está en la pendiente y solamente lleva a cabo una medición relativa).

Para la optimización del asiento de la vía de acuerdo con los procedimientos habituales conocidos, se suavizan las curvaturas medidas en forma de una curva de curvatura teórica. Seguidamente se forma la diferencia entre la "imagen de curvatura teórica" medida y suavizada. Se forma una función de transferencia inversa aproximada por medio de filtros digitales (véase, por ejemplo, el documento DE 103 37 976 B4). Esta función de transferencia inversa se aplica ahora a la diferencia entre la "imagen de curvatura de posición teórica" medida y suavizada. De esta manera, se obtiene de modo aproximado el error de la vía. Si el error por corregir supera los valores de corrección máximos admisibles, en tal caso debe modificarse de manera correspondiente la "imagen de curvatura de la posición teórica" mediante procedimientos complicados. La situación es similar con posiciones forzosas o puntos forzosos. Una posición forzosa, tal como un puente, puede requerir, por ejemplo, que no se permitan desplazamientos laterales. A diferencia de la dirección, en el caso de la altura longitudinal resulta una etapa de procesamiento adicional, ya que solamente se puede elevar y no es posible bajar. La curva de elevación-descenso resultante de la optimización debe tener una definición positiva. Para este propósito, las correcciones de elevación se elevan de tal manera que ya no se presentan valores negativos (descensos). Estos cálculos, por lo tanto, son dificultosos e inexactos porque se parte de imágenes de curvatura. Los errores corresponden aproximadamente a una integración doble de las diferencias de curvatura, pero adolecen, además, de una función de transferencia.

El estado de la técnica incluye los sistemas de medición mediante cuerdas (documento DE 32 27 724 C2) y péndulos o inclinómetros para medir la altura longitudinal, la dirección y el peralte (documento GB 2 268 021 B). El estado de la técnica también incluye odómetros para determinar la posición del sistema de medición sobre la vía. También forman parte del estado de la técnica los sistemas de navegación satelital (como GPS, Navstar o Galileo). El estado de la técnica también incluye los sistemas de navegación inercial (INS) o los sistemas de navegación inercial que consisten en una unidad sensora central con por lo general tres sensores de aceleración y sensores del número de rpm. Mediante la integración de las aceleraciones y de las velocidades de rotación medidas por la IMU (inertiale Messeinheit, Unidad de Medición Inercial)), en un INS se determina sobre la marcha el movimiento espacial del vehículo y, a partir de ello, su correspondiente posición geográfica. Los sistemas de INS funcionan con velocidades de datos de aproximadamente 100-1.000 Hz y precisiones elevadas y poca deriva (de $<0,01^\circ$ a $0,05^\circ$ /hora). Se calibran automáticamente durante las pausas cuando no se los mueve. La principal ventaja de un INS es que se lo puede operar sin referencia. La aceleración puede medirse por medio de sensores de aceleración sujetos mediante correas ("strap-down") al vehículo. Por supuesto, en principio también es posible usar una única IMU, caso este en el que el ángulo de balanceo absoluto debe medirse con un inclinómetro independiente. Las ventajas de estos sistemas de medición son que un ángulo de balanceo medible independiente con respecto a la aceleración centrífuga, una función de transferencia del sistema = 1, que es válida en amplios intervalos, es decir, se mide la trocha real del vehículo en el espacio sin distorsiones de la forma, de la amplificación ni de la posición de fase de los errores de la vía. A partir de esta trocha tridimensional del vehículo en el espacio y de una medición equidistante efectuada mediante un odómetro, se obtienen las coordenadas 3D. Mediante la proyección sobre el plano x-y, se obtiene

La imagen local de la vía y la proyección en el plano y-z permite obtener la sección en altura. Además, en el dibujo, es posible incluir datos de navegación satelital (por ejemplo, mediante GPS). El estado de la técnica también incluye los denominados sistemas de INS basados en el "Norte", que proporcionan desviaciones angulares absolutas del ángulo de balanceo, ángulo de guiñada y ángulo de inclinación referidos a un sistema orientado hacia el Norte. Al respecto, el vector de la unidad x apunta hacia el norte, el vector de la unidad z, en la dirección de la gravedad y el vector de la unidad y se alinea entonces de modo que se forma un sistema ortonormal. Las desviaciones angulares absolutas representan un vector unitario que muestra la dirección del carro de medición en el que se encuentra el sistema INS.

Las desventajas de los procedimientos conocidos para optimizar el asiento de la vía y calcular los errores de la vía a partir de un recorrido de medición son los valores medidos que adolecen de una función de transferencia, la función de transferencia inversa de los sistemas de medición con cuerdas que solo pueden representarse aproximadamente, la influencia negativa de las aceleraciones actuantes externamente sobre el inclinómetro, las condiciones marginales difíciles de satisfacer tales como las posiciones forzosas, los puntos forzosos o los valores de corrección máximos admisibles en el cálculo de optimización. Otra desventaja es la baja velocidad de medición admisible durante un recorrido de medición. Y otra desventaja es que los sistemas de medición mediante cuerdas tienen una extensión local en la dirección longitudinal de la máquina de 10-20 m. Por lo tanto, la máquina para construir las superestructuras a menudo está equipada con remolques bajo los cuales se aloja el sistema de medición. Esto aumenta los costos y la longitud de las máquinas. Si en el remolque se instalan unidades de trabajo adicionales tales como cepillos de barrido, silos de balasto o un estabilizador dinámico de la vía, en tal caso es imposible el uso de sistemas de medición con cuerdas. Otra desventaja de los procedimientos conocidos para optimizar la posición de la vía es que la inclinación absoluta de la vía y el cambio de inclinación no pueden averiguarse a partir de los datos de medición. En estas áreas, la posición desconocida del cambio de inclinación mediante los procedimientos conocidos conduce a una corrección

deficiente del asiento de la vía mediante las máquinas para construir las superestructuras. Otra desventaja de los procedimientos conocidos que debe señalarse es que, debido a los filtros digitales no recursivos usados y a la longitud necesaria para su recorrido de iniciación, debe medirse hasta aproximadamente 13 veces el tramo corto de la cuerda antes de la vía por corregir (normalmente, "a" está en el intervalo de 4-7 m –de esto resultan longitudes de medición preliminares y posteriores de 50 a 90 m). Dadas las bajas velocidades de medición que presentan los procedimientos conocidos, para esto es necesario un insumo de tiempo correspondiente. Los procedimientos conocidos con cuerdas presentan también la desventaja de un desplazamiento (por ejemplo, debido al desgaste de la rueda de medición, las inexactitudes de los medidores, de la leva en la que se mueve la cuerda, las oscilaciones de la cuerda, etc.), que deben ser verificados regularmente. Recalibrar los sistemas de medición por cuerdas es laborioso y costoso.

Por lo tanto, la invención tiene el objetivo de presentar un procedimiento para medir el asiento de una vía y para calcular el asiento de la vía después de un recorrido de medición, que sea adecuado para optimizar el asiento de la vía teniendo en cuenta condiciones marginales tales como posiciones forzosas, puntos forzosos y correcciones de asiento de vía máximas admisibles por medio de un sistema de navegación inercial (INS) o de un sistema de medición inercial (IMU) y de un odómetro. Las desventajas de los sistemas conocidos, tales como la influencia de las aceleraciones que inciden externamente, la limitada velocidad de medición, la influencia de una función de transferencia del sistema de medición mediante cuerdas, el desplazamiento por calibrar del sistema de medición mediante cuerdas, las condiciones marginales difíciles de satisfacer durante la optimización y ensamble de un remolque adicional, deberían evitarse.

La invención logra el objetivo planteado gracias a las características de las reivindicaciones 1 a 10. Las reivindicaciones secundarias exponen perfeccionamientos ventajosos de la invención.

Hay un sistema de INS incorporado en un carro de medición con 2 juegos de ruedas que pueden girar entre sí. Además, el carro de medición puede estar configurado de modo que el dispositivo de giro de los juegos de ruedas esté equipado con una medición de la trocha. Esto permite determinar la posición geométrica de ambos rieles en un proceso de medición. Los puntos de contacto de las ruedas sobre los rieles pueden determinarse mediante un conocimiento preciso de la trocha, lo que aumenta la exactitud de la determinación del peralte. Al carro de medición se halla conectado un odómetro que mide la distancia que recorre el carro de medición sobre la vía. El carro de medición se coloca lateralmente sobre un riel durante la medición, o se lo presiona en ambos lados durante la medición de la trocha. Por lo tanto, el INS mide la tangente de la dirección de la vía y la inclinación longitudinal, como también la inclinación transversal del carro de medición sobre la vía (el peralte). En, por ejemplo, distancias equidistantes (0,25, 0,5 o 1 m son típicos; también es posible una registración casi continua gracias a las elevadas velocidades de medición del INS), los datos de medición del INS se guardan en el lugar correspondiente. Además de los datos del INS, para cada punto de medición se guarda la longitud de arco recorrida exacta (o los "kilómetros de vía").

El procedimiento de acuerdo con la invención proporciona un asiento de vía teórico optimizado en altura y dirección, como también los valores de corrección asociados a la longitud de los arcos medida con el odómetro. Otra ventaja, además de la mayor velocidad de medición, es la robustez del INS o bien IMU en general con respecto a las aceleraciones externas perturbadoras. La compactación del lecho de balasto se lleva a cabo a 35 Hz, las máquinas para construir las superestructuras son operadas con motores diésel y, por lo tanto, tienen un nivel de vibraciones y aceleraciones perturbador. Además, el procedimiento según la invención tiene la ventaja de que la posición del cambio de inclinación y las inclinaciones absolutas pueden determinarse en forma exacta y, que por lo tanto, los valores de corrección para la máquina para realizar obras ferroviarias pueden especificarse con una calidad considerablemente más elevada. Una mayor exactitud lograda en la posición de la vía prolonga la durabilidad geométrica de la vía y reduce significativamente los costos de mantenimiento. Otra ventaja es la delimitación de las longitudes de medición previa y posterior a aproximadamente una longitud de la máquina (que normalmente es de 10-20 m). También es ventajoso que el procedimiento de acuerdo con la invención pueda usarse para determinar imágenes de curvatura e imágenes de inclinación longitudinal exactas que corresponden a la representación habitual del ferrocarril. Gracias a esto, es posible recurrir a estos datos teóricos en una reelaboración complementaria posterior. También forman una base excelente para que el servicio de topografía ferroviaria determine la geometría teórica de la geometría de vía hasta ahora no conocida del tramo de ferrocarril. Dado que las alturas de las flechas teóricas y las alturas longitudinales teóricas han sido determinadas matemáticamente a partir de las imágenes locales teóricas y de las imágenes de inclinación teóricas, durante el procedimiento de acuerdo con la invención, no se produce ventajosamente ningún corrimiento del sistema de medición. Con ello, se descartan procedimientos de calibración complejos.

Una vez terminado el recorrido de medición, se calcula la trocha del carro de medición en el espacio a partir de las diferencias angulares absolutas con respecto al sistema de coordenadas basadas en el norte de los valores INS registrados para cada punto de medición (ángulo de balanceo, de guiñada y de inclinación). El vector del ángulo de inicio se establece ventajosamente como la condición inicial en la dirección de inicio del carro de medición al comienzo del recorrido de medición. La integración de la trocha (cálculo de las coordenadas 3D de las posiciones del recorrido de medición) se realiza de acuerdo con lo siguiente:

Al establecer $z=0$ en las coordenadas 3D, se obtiene la llamada "imagen local" $f(xy)$. Al establecer $x=0$, se forma la sección longitudinal $g(y,z)$. La sección longitudinal muestra el desarrollo de las alturas y también los cambios en la inclinación (transición de una inclinación a otra). En función de la categoría del tramo, se definen las longitudes básicas. La imagen local se divide en secciones de acuerdo con una longitud de base especificada según el tipo de tramo. El

suavizado tiene lugar, por ejemplo, usando splines cúbicos basados en el procedimiento de la suma de cuadrados mínimos de las desviaciones. Estos splines se conectan entre sí de manera que forman una curva local teórica suavizada. Seguidamente se recortan los valores de corrección de acuerdo con los valores de corrección máximos admisibles. Los puntos forzosos se conectan por medio de una función matemática continua que recorre los puntos de transición y los puntos forzosos. La anterior curva local teórica se transforma en una nueva modificada por superposición. Los cambios de menor cuantía no tienen ningún efecto sobre el recorrido del vehículo. Se usa un procedimiento similar para posiciones forzosas. Esto, finalmente, resulta en curvas locales teóricas modificadas y por aplicar. Las diferencias con respecto a la curva teórica de la dirección son los valores de corrección de la alineación que se comunica a la máquina que construye las superestructuras. Para que la máquina que construye las superestructuras pueda procesar la curva teórica de la dirección con su sistema de cuerdas, esto todavía tiene que convertirse a los valores del sistema de medición por cuerda (altura de flecha para la dirección). Esto se hace por cálculos incluyendo continuamente una cuerda en la curva teórica de la dirección. La altura de flecha teórica así calculada se comunica al sistema de control de la máquina que construye la superestructura. Esto permite que la máquina que construye la superestructura lleve a cabo la corrección de la vía en cuanto a su dirección.

Según la invención, el desarrollo de la altura $(g(y, z))$ da como resultado valores de altura absolutos para la altura $(x=0)$. La transición de una inclinación a la siguiente caracteriza un cambio en la inclinación que es fácilmente determinable en los datos (después de filtrar el desarrollo de las alturas reales con un filtro digital que sólo permite cambios de onda larga (por ejemplo, de >50 m) (por ejemplo, la segunda derivada de la curva de alturas filtrada hace que el cambio de inclinación sea claramente determinable). Si los cambios de inclinación se determinan de esta manera, se calcula entre estas funciones de regresión (por ejemplo, rectas de regresión). La unión entre estas curvas de regresión individuales se lleva a cabo mediante curvas de compensación de orden superior, por ejemplo, splines cúbicos (con una determinada longitud de redondeo típica, por ejemplo, de 6 m). El resultado es una función matemática continua y constante como un desarrollo de alturas teórico. Seguidamente se forman las diferencias entre el desarrollo de las alturas reales medida y las alturas teóricas. Las diferencias corresponden a las correcciones por realizar y se incrementan de modo que no aparezcan valores negativos y resulten valores de elevación positivos puros. Para que la máquina que construye la superestructura pueda procesar el desarrollo de las alturas con su sistema de cuerdas, esto todavía tiene que convertirse en valores del sistema de medición de las cuerdas (altura longitudinal). Esto se hace aritméticamente incluyendo en forma continua una cuerda en la curva teórica de las alturas. La altura longitudinal teórica así calculada y los valores de elevación se comunican al control de la máquina que construye la superestructura. Esto permite que la máquina que construye la superestructura lleve a cabo la corrección de la vía en su altura longitudinal.

Si el trabajo se efectúa perfectamente, resultan las posiciones de vía correspondientes al desarrollo de la curva local teórica suavizada y al desarrollo de altura teórica, manteniéndose las condiciones marginales tales como posiciones forzosas, puntos forzosos o valores de corrección máximos.

Por supuesto, el sistema descrito aquí también puede usarse como un sistema de medición propio para crear un documento de aceptación, con la ventaja de que no hay un sistema de medición voluminoso que requiera un remolque. Asociada a este procedimiento, está, por supuesto, la ventaja de llevar a cabo la registración de medición a velocidades de hasta 80 km/h. Esto da como resultado un enorme ahorro de tiempo para el recorrido de medición en comparación con los sistemas existentes que en general se llevan a cabo a solamente unos 5 km/h. Si se diferencia la imagen local dos veces matemáticamente de acuerdo con la longitud de arco, resulta la curvatura. La imagen de curvatura es la representación usual de la vía férrea. Otra ventaja es que determinados cambios de posición de la vía (por ejemplo, una desviación en el área de una estación de ferrocarril) pueden ser superpuestos directamente sobre la imagen local teórica. La máquina que construye la superestructura sencillamente convierte esto después de la transferencia de los datos de control obtenidos a partir de la imagen local teórica. Tales especificaciones no pueden implementarse en una imagen de curvatura. Además, el procedimiento de acuerdo con la invención tiene la ventaja de que la posición del cambio en la inclinación y las inclinaciones absolutas pueden determinarse exactamente y que, por lo tanto, es posible especificar valores de corrección considerablemente más exactos para las máquinas para obras ferroviarias.

En el dibujo, el objeto de la invención se ha representado, por ejemplo, esquemáticamente.

- 50 la Figura 1 muestra una vista en planta y en elevación de un carro para medir vías férreas de acuerdo con la invención, con una unidad de INS;
- la Figura 2 muestra el principio del procedimiento para la corrección precisa de la vía, basado en cuerdas;
- la Figura 3 muestra un esquema de coordenadas 3D de la vía, basado en el Norte;
- 55 la Figura 4 muestra un esquema de la determinación de las coordenadas 3D de la vía de la imagen local y de la imagen de la inclinación longitudinal;
- la Figura 5 muestra un esquema de la imagen de la posición teórica optimizada con ayuda de splines cúbicos de compensación;
- la Figura 6 muestra una representación detallada de la unión suave entre splines de compensación;

- la Figura 7 muestra una representación esquemática de la formación de una posición teórica de la vía, teniendo en cuenta un único punto forzoso;
- la Figura 8 muestra una representación esquemática de la formación de una posición teórica de altura, teniendo en cuenta una posición forzosa; y
- 5 la Figura 9 muestra un corte en altura longitudinal con posición en altura teórica compensada y cambio de pendiente y valores de corrección de la altura.

La Figura 1 muestra, de acuerdo con la invención, un carro A para la medición de vías de ferrocarril con una unidad 5 de INS que está dispuesta en el bastidor 8 del carro de medición por acoplar. El carro A de medición rueda mediante sus 4 ruedas 1 sobre los rieles 12. Las ruedas 1 en un lado están, en cada caso, rígidamente conectadas entre sí 2, 3. Por intermedio de un eje 4, ambos lados de las ruedas opuestas están montados de manera de poder rotar entre sí. Esto significa que el carro A para la medición de las vías puede adoptar una posición definida en vías retorcidas. El eje 4 está diseñado de modo de ser desplazable en la dirección axial. El desplazamiento 6 se lleva a cabo mediante un cilindro neumático 14 de manera que ambos pares 2, 3 de ruedas ruedan hacia la izquierda y hacia la derecha en el borde 12 del riel. La trocha de la vía (SPW, Spurweite) se mide mediante un sensor 7 de distancia real. El ancho entre los apoyos de ruedas (RAW, Radaufstandsweite) se calcula como sigue:

$$RAP = SPW + b_k$$

donde b_k es el ancho de la cabeza del riel.

Por intermedio de dos cilindros 10 posicionados oblicuamente, los pares de ruedas 1,2 y 1,3 son expuestos a una fuerza vertical y a una fuerza horizontal. Esto asegura la puesta en movimiento de las ruedas 1 en los rieles 12 e impide su descarrilamiento. Los cilindros verticales 9 sirven para la elevación a la posición de bloqueo y para la colocación del carro de medición en los rieles al inicio del trabajo o bien para su remoción de los rieles al terminar el trabajo. El número de referencia 11 representa esquemáticamente un posicionamiento de la vía en la que el eje 4 de torsión puede estar tanto torsionado como también desplazado transversalmente. El número de referencia 21 representa el bastidor de la máquina que construye la superestructura de la vía. En el carro A de medición, se ha instalado un odómetro (dispositivo de medición de la trayectoria) 24 que mide la longitud de arco de la vía.

La Figura 2 muestra esquemáticamente el funcionamiento de un sistema B de corrección de precisión para la vía. Consiste en una cuerda de longitud L con secciones de cuerda a y b. La máquina que construye la superestructura con el sistema de corrección basado en cuerdas funciona en la dirección AR. El número de referencia 21 muestra la posición de vía por corregir y R_s muestra la posición teórica optimizada de la vía. En la imagen mostrada, se supone que la vía detrás de la cuerda ya ha sido corregida. En este caso, el punto posterior de la cuerda está sobre la vía corregida. Sin embargo, el punto anterior estaría situado en la posición real 21 de la vía. Por lo tanto, para el procedimiento, es necesario determinar primero el valor v de corrección. El extremo anterior de la cuerda debe ser guiado a la posición R_s de vía teórica. Esto puede lograrse, por ejemplo, guiando la cuerda en su parte anterior en un equipamiento de ajuste transversal que se ajusta exactamente en la diferencia v en cada etapa del trabajo. Otra condición para el correcto funcionamiento del procedimiento es la especificación de la altura teórica de la flecha f_s . Esto proporciona entonces el valor orientativo necesario para lograr la posición teórica de la vía f_s :

$$RW = f_s - f_i$$

RW valor orientativo

Por lo tanto, para una función perfecta, deben determinarse las alturas teóricas de las flechas f_s y los valores de corrección v mediante un procedimiento correspondiente.

La Figura 3 muestra esquemáticamente un sistema de coordenadas basado en el Norte. El eje x apunta hacia el Norte N, el eje z se extiende paralelamente al eje gravitacional g. Las rotaciones alrededor del eje x se miden a través del ángulo de balanceo Φ (ángulo de peralte), las rotaciones alrededor de las eje z corresponden al ángulo de dirección (también designado como "rumbo" (heading) o también como ángulo de engranaje (Gearwinkel o también como ángulo de Yaw) Ψ y las rotaciones alrededor del eje y proporcionan el ángulo de inclinación (pitch o ángulo de inclinación) Θ . Al comienzo de la medición, los tres ángulos de diferencia $\Delta\Phi$, $\Delta\Psi$ y $\Delta\Theta$ que forman la dirección del vehículo con respecto al sistema de coordenadas con base Norte, son medidos y proporcionados por el INS. El vector unitario en la dirección de la máquina da como resultado:

$$\vec{e}_i = \begin{pmatrix} \cos\Psi \cdot \cos\Theta \\ \sin\Psi \cdot \cos\Theta \\ \sin\Theta \end{pmatrix}$$

La medición del INS se lee por medio de la longitud de arco medida en secciones equidistantes λ (normalmente 0,25 – 1 m). El primer punto de datos P₁ se calcula entonces simplemente como sigue:

$$\vec{P}_i = \lambda \cdot \vec{e}_i$$

En la siguiente medición, se forma el nuevo punto P_{i+1} mediante adición de vector:

$$\vec{P}_{i+1} = \vec{P}_i + \lambda \cdot \vec{e}_{i+1}$$

5 Se procede de esta manera con todos los puntos de datos medidos. El tramo de camino recorrido (la longitud del arco s) se mide con un odómetro y se registra, resultando:

$$s_i = i \cdot \lambda$$

i : número de puntos de datos leídos

10 Como el coeficiente de medición equidistante λ es muy corto, puede desdiseñarse el error resultante de la formación de secantes. Se puede suponer que, dentro de un coeficiente de medición típico de 0,25-1 m, los rieles pueden considerarse como rectilíneos. La longitud de onda de los errores para tener en cuenta es normalmente de hasta 100 m, lo que significa que también se pueden desdiseñar posibles errores de acumulativos.

15 La Figura 4 muestra esquemáticamente en un sistema basado en el Norte la línea 3 de coordenadas 3D con las ternas de coordenadas $P_i(x_i, y_i, z_i)$. Al poner z en cero, se obtiene la proyección de esta línea de coordenadas 3D en el plano xy , la llamada "imagen local 1". Al poner x en cero, se obtiene la proyección de esta línea de coordenadas 3D en el plano yz , la llamada "imagen 2 de inclinación". La imagen local 1 muestra el desarrollo de la vía, las secciones rectilíneas, los arcos de transición o bien la posición de los arcos completos. Los errores de dirección de la vía se superponen en esta geometría. La imagen de elevación longitudinal muestra inclinaciones absolutas, los cambios de inclinación y los errores de altura superpuestos. La longitud s_i de arco actual (km de vía) se almacena como un parámetro para cada uno de las ternas de coordenadas P_i medidas y registradas.

20 La Figura 5 muestra esquemáticamente una imagen local ($z=0$). A título de ejemplo, en el sentido de la invención, para construir una curva local teórica R_s , la curva local 3 se subdivide en secciones uniformes D . Para cada sección D , se calcula en una primera etapa, por ejemplo, un spline cúbico de regresión compensador u otra curva de regresión matemática de orden superior (usando el procedimiento de la suma de cuadrados mínimos de las desviaciones) SPL1, SPL2, etc. El procedimiento para los splines cúbicos de regresión se describe a continuación como un ejemplo. Se
 25 usa un spline cúbico de regresión de tercer orden, por ejemplo, para que también sea posible representar correctamente un punto de inflexión en la geometría de la vía (cambio de arco, por ejemplo, de un arco a la izquierda a un arco a la derecha). La longitud de las secciones D se elige de acuerdo con la categoría del tramo. Cuanto más rápido se conduzca, tanto mayores serán los radios y tanto menores los errores en la vía. Por lo tanto, para tramos de categoría más elevada, también se eligen secciones D más largas. En la siguiente etapa, se seleccionan las longitudes de transición L_t correspondientes a x_1, x_2 , cuya longitud también se selecciona de acuerdo con la categoría del tramo. Las curvas de regresión ahora deben conectarse entre sí de tal manera que resulte un desarrollo continuo bajo condiciones marginales. Estas curvas de unión SPL3 pueden producirse con curvas de compensación matemática de orden superior. Aquí se describe un polinomio cúbico de compensación SPL3 a modo de ejemplo, pero también son posibles otras ecuaciones matemáticas. Con x_1 o bien x_2 , se calculan los puntos en el spline de compensación calculada ($P1$ de la ecuación de spline SPL1 y $P2$ de la ecuación de spline SPL2). Seguidamente, se calculan los polinomios cúbicos SPL3 entre los puntos P_1 y P_2 en las condiciones iniciales, como se muestra ampliado en la Figura
 35 6. Los puntos $P1$ y $P2$ son conocidos para un polinomio de transición cúbica, al igual que las pendientes t_1, t_2 en estos puntos de los splines cúbicos de regresión. Estas etapas permiten obtener una imagen local teórica R_s continua y suavizada claramente descrita desde un punto de vista matemático. Si se diferencia esta imagen local teórica R_s dos veces, se obtiene la curvatura $k=1/R$ de la posición teórica tal como se usa en el ferrocarril. Esta es una gran ventaja, ya que, de esta manera, se determina una geometría teórica que puede usarse nuevamente en ocasión del próximo trabajo de mantenimiento de la vía. En la Figura 6, se ha representado a modo de ejemplo y esquemáticamente también la imagen $k(s)$ de curvatura para la curva $y(x)$ geométrica teórica $y(x)$. Si se considera el siguiente planteo como polinomio cúbico:

$$45 \quad y = a \cdot x^3 + b \cdot x^2 + c \cdot x + d$$

y para las tangentes en los puntos extremos:

$$t = 3 \cdot a \cdot x^2 + 2 \cdot b \cdot x + c$$

y para los puntos $P1 = (x_1, y_1)$; $P2 = (x_2, y_2)$

en tal caso, es posible calcular los parámetros a, b, c y d analíticamente como sigue:

$$a = \frac{2 \cdot (y_2 - y_1) - (x_2 - x_1) \cdot (t_2 + t_1)}{x_1^3 - x_2^3 + 3 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot (x_2 - x_1)}$$

$$b = \frac{t_2 - t_1 - 3 \cdot a \cdot (x_2 - x_1)}{2 \cdot (x_2 - x_1)}$$

$$c = t_1 - 3 \cdot a \cdot x_1^2 - 2 \cdot b \cdot x_1$$

$$d = y_1 - a \cdot x_1^3 - b \cdot x_1^2 - c \cdot x_1$$

Los procedimientos de los cuadrados mínimos para una regresión con un spline cúbico conducen a las siguientes cuatro ecuaciones normales:

$$n \cdot a_0 + \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \cdot a_1 + \left(\sum_{i=1}^n x_i^2 \right) \cdot a_2 + \left(\sum_{i=1}^n x_i^3 \right) \cdot a_3 = \sum_{i=1}^n y_i$$

$$\left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \cdot a_0 + \left(\sum_{i=1}^n x_i^2 \right) \cdot a_1 + \left(\sum_{i=1}^n x_i^3 \right) \cdot a_2 + \left(\sum_{i=1}^n x_i^4 \right) \cdot a_3 = \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i$$

$$\left(\sum_{i=1}^n x_i^2 \right) \cdot a_0 + \left(\sum_{i=1}^n x_i^3 \right) \cdot a_1 + \left(\sum_{i=1}^n x_i^4 \right) \cdot a_2 + \left(\sum_{i=1}^n x_i^5 \right) \cdot a_3 = \sum_{i=1}^n x_i^2 \cdot y_i$$

$$\left(\sum_{i=1}^n x_i^3 \right) \cdot a_0 + \left(\sum_{i=1}^n x_i^4 \right) \cdot a_1 + \left(\sum_{i=1}^n x_i^5 \right) \cdot a_2 + \left(\sum_{i=1}^n x_i^6 \right) \cdot a_3 = \sum_{i=1}^n x_i^3 \cdot y_i$$

5 n: número de puntos de datos.

Para determinar los coeficientes a_0 , a_2 , a_3 y a_4 , el sistema de ecuaciones debe resolverse, por ejemplo, con el algoritmo gaussiano o de acuerdo con la regla de Cramer.

Al respecto, el spline cúbico de regresión resultante de acuerdo con el procedimiento de cuadrados mínimos tiene la siguiente forma:

10
$$y = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2 + a_3 \cdot x^3$$

En la representación esquemática, se ha dibujado también la posición de una cuerda con la longitud de cuerda L y las secciones de cuerda a y b . La altura de flecha teórica f_s se determina mediante cálculo.

15 La Figura 7 muestra esquemáticamente cómo es posible adaptar la curva local teórica R_s con respecto a un punto forzado Z_P . Primero, como se muestra arriba, se calcula la curva teórica local R_s a partir de los puntos de la curva local real R_i . Se retrocede o bien se avanza una distancia d_P desde el punto forzado y se superpone un spline de transición con las condiciones marginales P_1 , t_1 y Z_P , t_2' . Al respecto, la tangente t_2' se elige paralela a la tangente t_2 . La unión al frente se calcula de igual manera.

De esa manera, se modifica la curva local teórica de modo que continuamente pasa por el punto forzado Z_P . El desplazamiento se calcula seguidamente en $R_s - R_i$.

20 La Figura 8 muestra esquemáticamente un procedimiento para adaptar la curva local teórica R_s cuando deba mantenerse una posición forzada W . El ejemplo muestra un cambio de vía (de longitud L_W) en el que la curva local teórica ha de ingresar (W_A) y egresar (W_E) tangencialmente. Para este propósito, se determinan los puntos de la curva local teórica P_A y P_E calculados hasta aquí. Aquí, nuevamente, como antes, se calcula un spline cúbico cuyas tangentes iniciales (t_A , t_W) y tangentes finales (t_E , t_W) y puntos iniciales (P_A , W_E) y puntos finales (W_A , P_E) se especificaron. L_{KA} y L_{KE} se seleccionan de modo que entre la nueva curva local teórica (R_s') sólo haya desviaciones continuas de la curva local teórica (R_s) anterior que no influyan notablemente en el recorrido del vehículo con respecto a la curva local teórica (R_s) precedente. Sobre la curva local teórica (R_s') final resultante, se mueve a continuación nuevamente la cuerda de la máquina que construye la superestructura - el resultado es el desarrollo de la altura teórica

25

de la flecha. Las desviaciones entre la curva local teórica (R_s') y la curva local real (R_i) proporcionan los valores de corrección para la dirección.

5 La Figura 9 muestra esquemáticamente la imagen de altura real ($x=0$) 15. Los cambios en la inclinación NW pueden reconocerse por quiebres en el desarrollo de las alturas. Entre los cambios de inclinación (pendiente o declive constantes) se calculan, por ejemplo, funciones de regresión (por ejemplo, línea recta de regresión). También es posible usar otras funciones de regresión. A continuación, se describe a modo de ejemplo el procedimiento basado en rectas de regresión lineales. Para determinar con mayor exactitud la posición del cambio en la inclinación, se filtra primero la imagen 15 de altura con un filtro digital de tal manera que los componentes de onda curva sean eliminados por filtrado (hasta, por ejemplo, una longitud de onda de 50 m). Esto proporciona un desarrollo 17 de altura uniforme. Este desarrollo 17 de altura filtrado se diferencia numéricamente dos veces. La doble diferenciación da como resultado un pico claro fácil de detectar en los cambios de inclinación. El valor máximo (la mayor inclinación en el medio del cambio de la pendiente) indica la posición del cambio de inclinación.

15 A partir de esta posición así determinada del cambio de inclinación NW, se determinan separados a distancia a la izquierda y a la derecha los radios de redondeo (de una longitud típica de 6 m) los puntos NW_A y NW_E situados en la recta de regresión. Estos puntos se unen seguidamente mediante, por ejemplo, splines cúbicos 18. Como condiciones marginales para estos splines cúbicos 18 rigen tangentes de las rectas de regresión en los puntos NW_A y NW_E y los puntos NW_A y NW_E como tales. Como resultado se obtiene una imagen H_s de altura longitudinal teórica. Sobre la imagen H_s de altura longitudinal teórica, se mueve seguidamente la cuerda L, a, b, de la máquina que construye la superestructura numéricamente a lo largo de la curva - esto permite entonces obtener como resultado la altura longitudinal teórica f_L . Las desviaciones entre las imágenes de altura longitudinal teórica y real proporcionan los valores de corrección para la altura Δz .

25 El diagrama inferior muestra cómo se determinan los valores de elevación a partir de las desviaciones Δz . La máquina que construye la superestructura solamente puede realizar elevaciones y ningún asentamiento 20 (signo negativo de los valores de corrección). Por lo tanto, en el área de las rectas de regresión lineales, se determina la corrección negativa más grande $|H|$. Este valor se añade a todos los valores de corrección determinados. Resulta una nueva línea cero N_L . Esto significa que todos los valores de corrección H_L se vuelven positivos y pueden ser realizados por la máquina que construye la superestructura. Si los valores (25) de corrección de elevación así determinados superan la elevación máxima admisible H_{max} , en tal caso, el área de rebasamiento se limita simplemente al valor de la elevación máxima (área rayada).

30

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para medir y calcular el asiento de una vía férrea mediante un carro medidor de la vía (A), que puede rodar sobre la vía, con por lo menos dos ejes de ruedas soportados en un bastidor de máquina (21) y con un dispositivo (10) para presionar las ruedas (1) sobre el riel (12), **caracterizado porque** inicialmente se lleva a cabo un recorrido de medición con el carro medidor (A) apto para rodar sobre la vía y equipado con un sistema de navegación inercial (INS, 5), cuyas ruedas (1) son presionadas sobre los rieles (12), midiéndose una longitud de arco(s) del riel (12) mediante un odómetro (24), midiéndose la posición angular ($\Delta\Psi$, $\Delta\Phi$, $\Delta\Theta$) de la unidad de navegación inercial (INS, IMU, 5) con respecto a un sistema de coordenadas de referencia cartesiano (x, y, z) y almacenándose, y porque después del recorrido de medición, los puntos de coordenadas (P_i) de la trocha $(\lambda, \vec{e}_i, P_i)$ de la unidad de navegación (INS, 5) en el espacio se calculan, a partir de las posiciones angulares almacenadas ($\Delta\Psi$, $\Delta\Phi$, $\Delta\Theta$), mediante un cálculo de compensación, y, a partir de los puntos de coordenadas así optimizados (P_i) de la trocha $(\lambda, \vec{e}_i, P_i)$, mediante la puesta en cero de los componentes z, se forma una imagen local (1) y mediante la puesta en cero de los componentes x, se forma una sección longitudinal (2), después de lo cual se representa gráficamente la curva, determinada mediante funciones de unión matemáticas por medio de los puntos de coordenadas (P_i).
2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** mediante los puntos de coordenadas (P_i), se representan gráficamente funciones de regresión de grado superior (SPL1, SPL2) y las funciones de regresión adyacentes entre sí se unen entre sí dentro de una región (L_u) con un función de unión matemática de grado superior (SPL3) de manera que esta función de unión matemática (SPL2) pasa por los puntos finales (P_1, P_2) de las funciones de regresión (SPL1, SPL2) y de sus tangentes finales (t_1, t_2),
- después de lo cual se adapta una curva local teórica, bajo puntos forzosos formadores de condiciones marginales (Z_P), mediante la superposición de una corrección angular ($\Delta\phi$) y posiciones forzosas formadoras de condiciones marginales (W) al inicio (W_A) y al final (W, L_W) mediante funciones de unión matemáticas de orden superior (22, 23) en una longitud de transición (L_{KA}, L_{KE}).
3. Procedimiento de acuerdo con las reivindicaciones 1 o 2, **caracterizado porque**, para las posiciones (W) forzosas formadoras de condiciones marginales y para los puntos (Z_P) forzosos, se predefinen tolerancias.
4. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado porque** en la sección longitudinal (2), a saber, la imagen en altura (15), se determinan el cambio de inclinación (NW) y, para las secciones entre los cambios de inclinación, se calculan funciones de regresión (H_{Si}), porque, para una curva de altura teórica (H_{Si}), las transiciones de los cambios de inclinación (NW_A, NW_E) se forman mediante funciones de transición matemáticas y porque, para que las correcciones de elevación se definan como positivas, la totalidad de la línea de corrección (20) se eleva en el mayor valor del "asentamiento" (H) o bien se le suma el importe absoluto ($|H|$), en donde los valores (25) que exceden el valor de elevación máxima admisible (H_{max}) se recortan y no se llevan a cabo.
5. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado porque** se mueve matemáticamente un cuerda de trabajo (a, b, P_H, P_a, P_v) de una máquina para construir la superestructura sobre una curva local teórica y sobre un desarrollo teórico de altura y, con ello, se calcula una altura de flecha teórica (f_s) para la dirección y una altura longitudinal teórica ($f_L, P_{Lh}, P_{Lv}, L, a, b$), en donde las diferencias entre la curva local teórica (R_s) y la curva local real (R_i) indican los valores de corrección para la dirección (v) y las diferencias entre el desarrollo en altura teórico y el desarrollo en altura real indican las correcciones (H_L) para la elevación, con lo que se transmiten al sistema de control de la máquina que construye la superestructura las señales de control (v, H_L , como también f_s y f_L) necesarias para el control de la máquina que construye la superestructura de acuerdo con un procedimiento de precisión de 3 puntos.
6. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado porque** la representación matemática analítica de una curva local teórica (SPL1, SPL2, SPL3) se diferencia dos veces y porque la curvatura ($1/R$) resultante de ello también se diferencia dos veces, en función de la longitud del arco como imagen de curvatura usual (k_1, k_2), y la altura teórica (H_s) también se diferencia dos veces y se representa como imagen de curvatura de altura en función de la longitud del arco.
7. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado porque** detrás de la máquina que construye la superestructura se remolca un carro medidor de la vía (A) con un sistema de navegación inercial o un sistema de medición inercial (INS; 5) y los errores de asiento de la vía (H_L, v), el error de peralte (Δu) y el error de trocha (ΔSPW) son registrados después del trabajo en un documento de recepción como errores residuales remanentes.
8. Dispositivo para medir el asiento de una vía de ferrocarril mediante un carro medidor de la vía (A) que puede rodar sobre la vía, con por lo menos dos ejes de rueda soportados en el bastidor de una máquina (21), y con un dispositivo (10) para presionar las ruedas (1) sobre una vía con dos rieles (12), **caracterizado porque** el carro medidor de la vía (A) presenta en la región de lados longitudinales opuestos grupos de ruedas que comprenden cada uno por lo menos dos ruedas (1), cada una asociada a un riel, que están apoyadas de modo que pueden pivotar entre sí alrededor de un eje transversal del carro medidor (4), y porque el carro medidor de la vía (A) está equipado con una unidad de

navegación inercial (INS, 5) y con un odómetro (24) para medir una longitud de arco (s) del riel (12).

5 9. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 8, **caracterizado porque** el dispositivo para presionar las ruedas (1) contra el riel (12) comprende un accionador de regulación, con el que pueden desplazarse los grupos de ruedas en dirección del eje transversal del carro medidor de la vía (4) para presionar las llantas de las ruedas (1) contra los flancos interiores de las cabezas de los rieles.

10. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 9, **caracterizado porque**, para medir la trocha (SPW), se ha previsto un sensor (7) asociado al eje transversal del carro medidor de la vía (4).

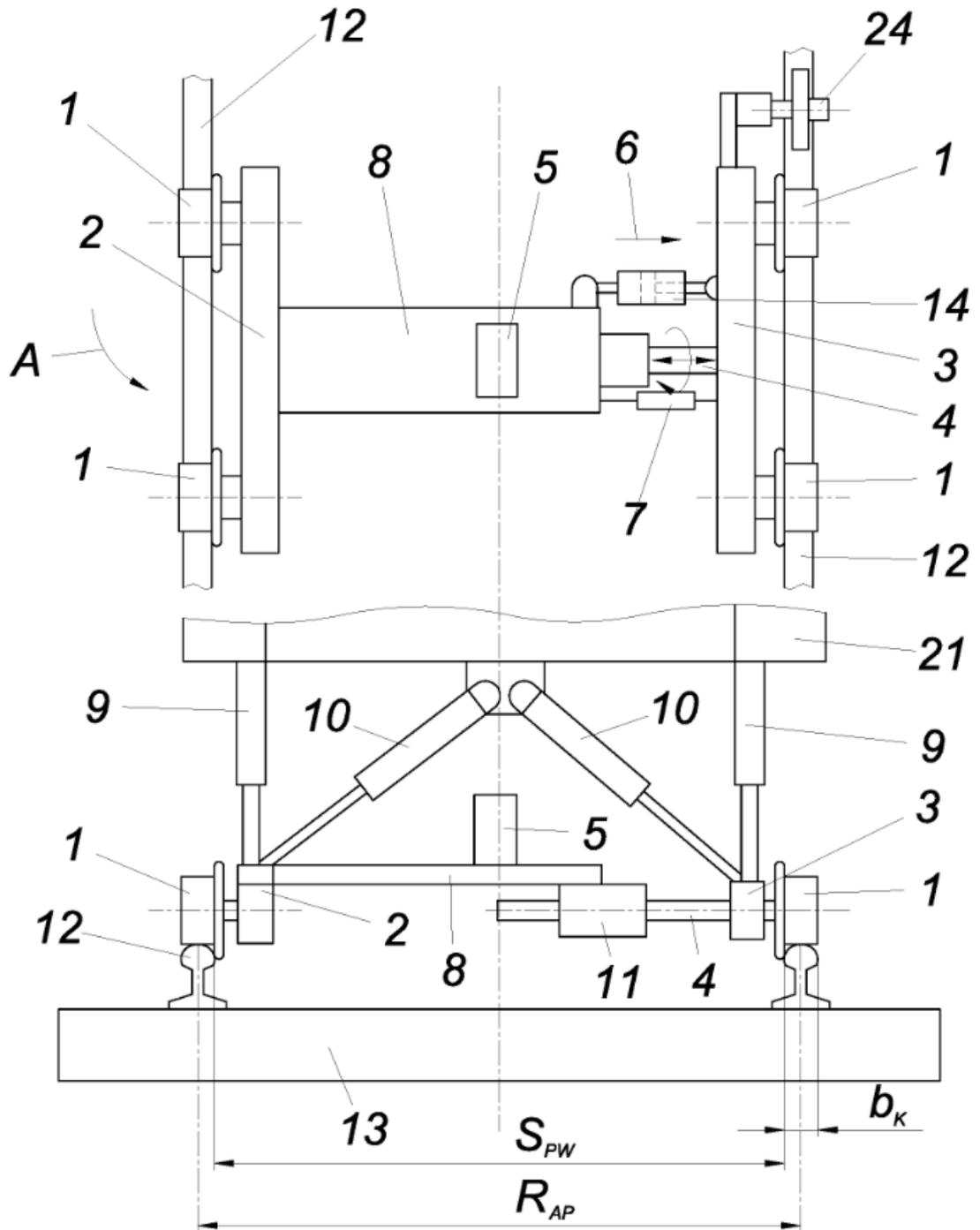


FIG.2

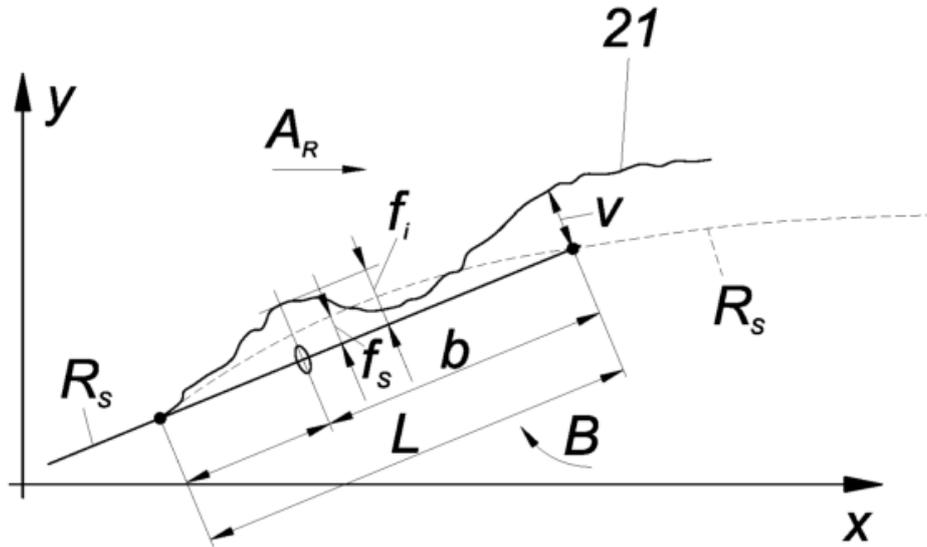


FIG.7

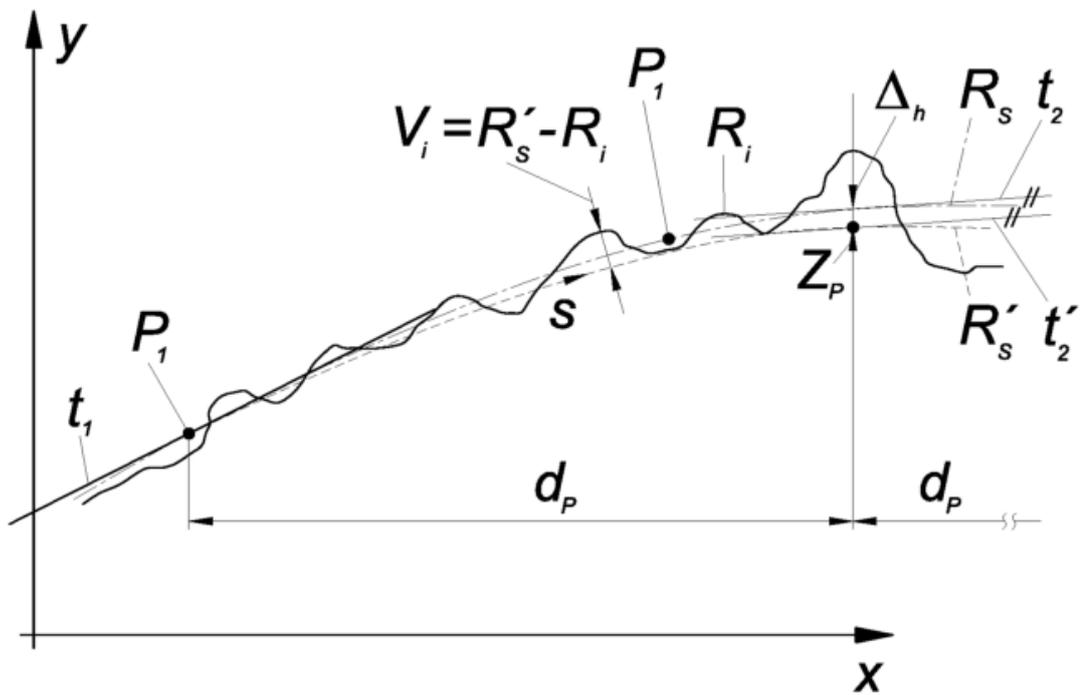


FIG.3

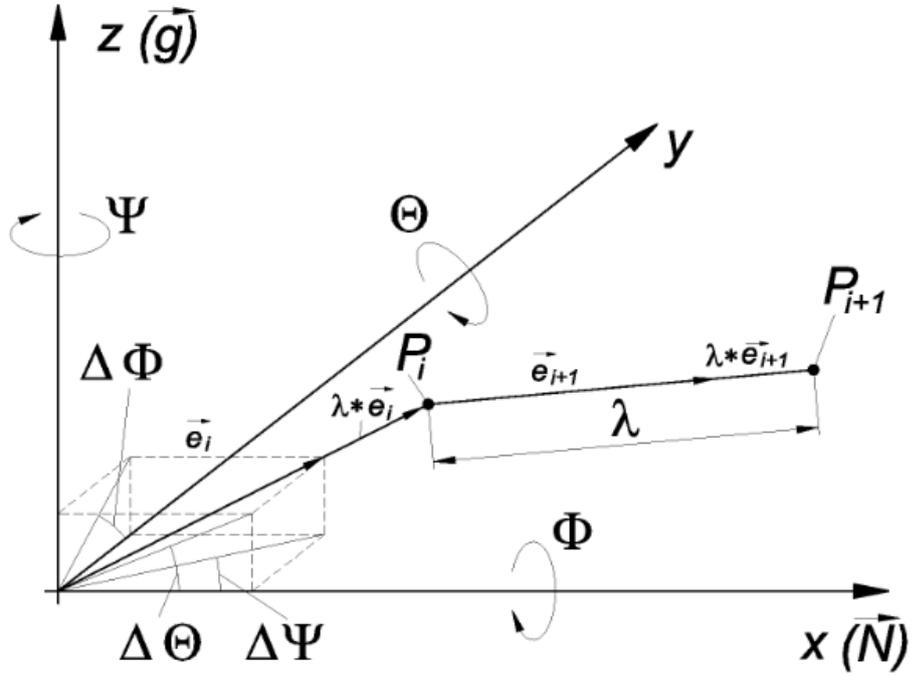


FIG.4

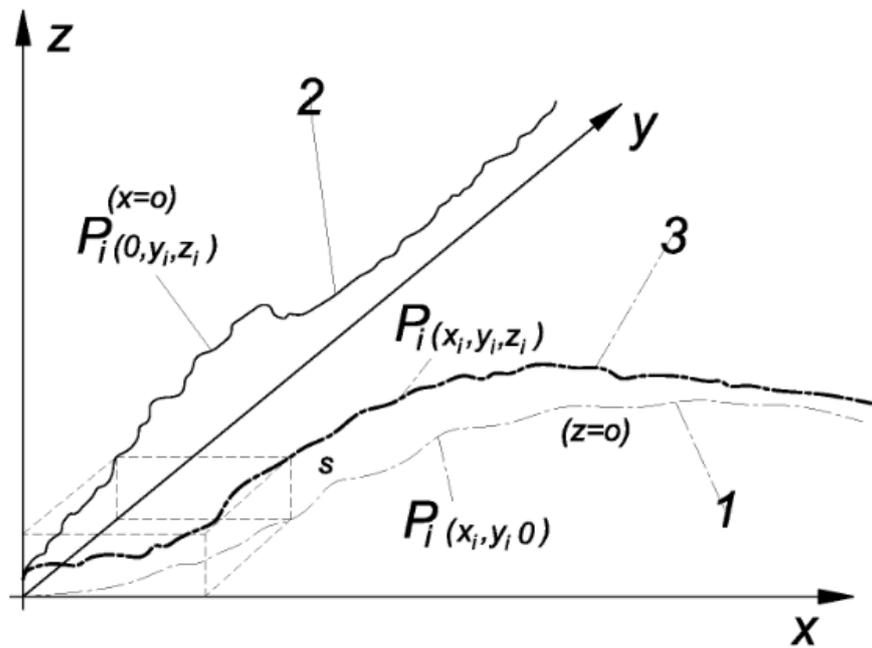


FIG.5

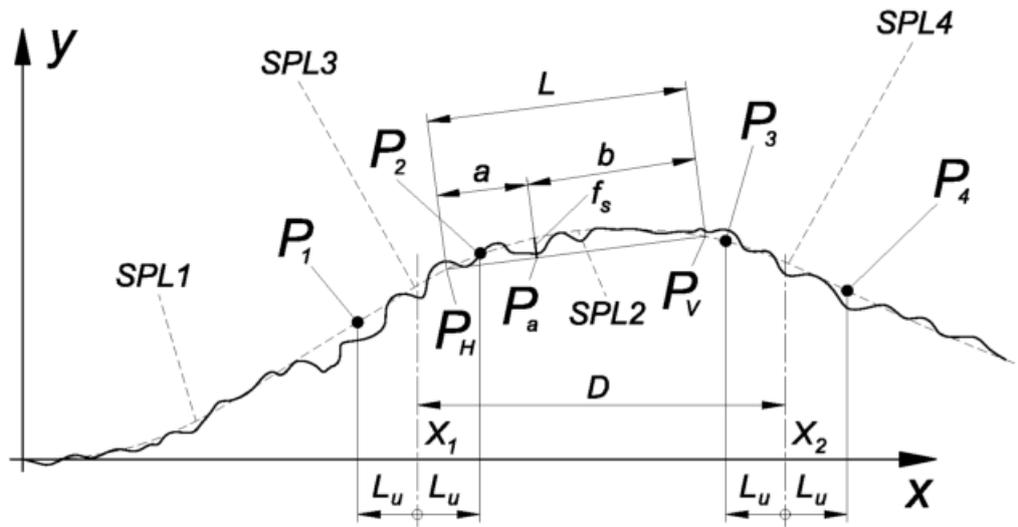


FIG.6

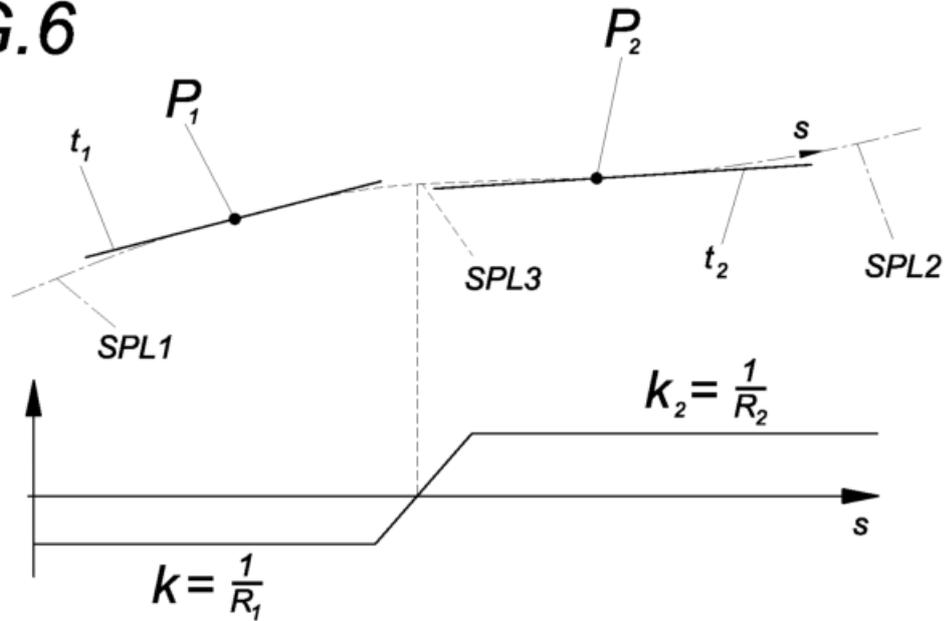


FIG.8

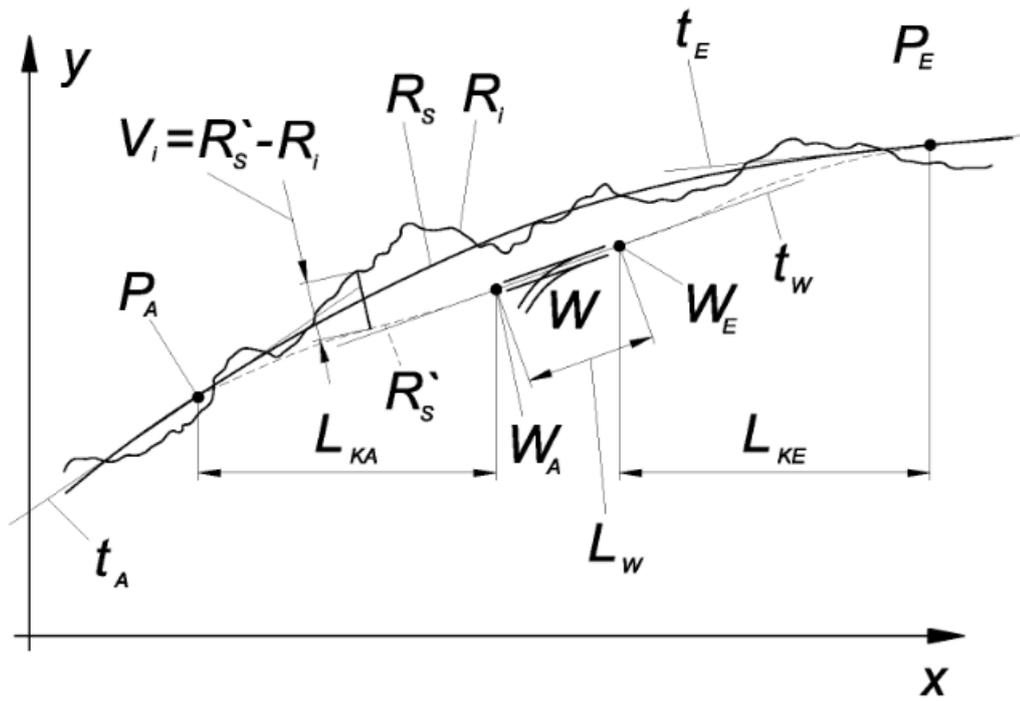


FIG.9

