(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 461 815**

(51) Int. CI.:

G21C 3/322 (2006.01)
G21C 3/32 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.07.2007 E 07786117 (7)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.03.2014 EP 2044593**

(54) Título: **Dispositivo para la eliminación de partículas sólidas a partir del líquido de refrigeración que circula en el circuito primario de un reactor nuclear**

(30) Prioridad:

22.07.2006 DE 102006034001
17.08.2006 DE 102006038748

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
21.05.2014

(73) Titular/es:

AREVA GMBH (100.0%)
Paul-Gossen-Strasse 100
91052 Erlangen, DE

(72) Inventor/es:

LELICKENS, HARTMUT;
HUQ, REAZUL;
MEIER, WERNER y
HEINECKE, JOCHEN

(74) Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

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

Dispositivo para la eliminación de partículas sólidas a partir del líquido de refrigeración que circula en el circuito primario de un reactor nuclear

Dispositivo para la eliminación de partículas sólidas a partir del líquido de refrigeración que circula en el circuito primario de un reactor nuclear, particularmente en el circuito primario de un reactor nuclear de agua en ebullición. El invento trata además, de un núcleo del reactor de un reactor nuclear con un dispositivo de este tipo.

A través de trabajos de mantenimiento en el circuito primario de un reactor nuclear, es posible que cuerpos extraños en forma de pequeñas partículas sólidas lleguen al circuito primario y que circulen constantemente con el medio de refrigeración. Estas partículas sólidas se depositan en las zonas muertas de la corriente y en las columnas, y pueden conducir a un enganchamiento o a dificultar el acceso a las piezas a desmontar durante las operaciones de mantenimiento. Además, estas partículas sólidas pueden conducir a un aumento de la erosión en las columnas estrechas a través de las que circula el líquido de refrigeración.

Por el documento EP 0 432 738 B1 se conoce que para evitar daños por erosión o abrasión causados por cuerpos extraños en las barras combustibles de un elemento combustible para un reactor de agua en ebullición, se dispone debajo de la placa base del elemento combustible, un filtro en forma de una placa perforada o un tamiz en forma de embudo, que impide la entrada de cuerpos extraños en el elemento combustible. En el modelo de fabricación con el tamiz en forma de embudo que presenta en el centro un canal abierto, están dispuestas aguas arriba a éste, álabes conductores que producen un flujo de turbulencia y evitan que partículas extrañas fluyan hacia el canal central libre.

Con dicha placa perforada o con un tamiz en forma de embudo, es posible evitar la intrusión de partículas extrañas en los espacios entre las barras combustibles. Un problema, es sin embargo, que un filtro de este tipo puede ser parcialmente obstruido, influyendo negativamente en las condiciones de flujo en el elemento combustible. Por lo tanto, para evitar problemas desde un principio con las partículas extrañas, es generalmente deseable limpiar el líquido de refrigeración a través de un sistema de filtro para reducir desde el inicio la cantidad de dichas partículas extrañas en el medio de refrigeración.

En este caso se ha demostrado que los sistemas de filtro existentes en las plantas de energía nuclear para limpiar el líquido de refrigeración, no son suficientes para eliminar las partículas sólidas a partir del circuito del líquido de refrigeración, ya que se pudo observar que incluso después de la aplicación de dicha limpieza, se acumulan nuevamente partículas sólidas en la puntos mencionados anteriormente.

Por el documento JP 56117194 A se conoce el uso de un dispositivo de filtro en el núcleo del reactor en lugar de un elemento combustible, que presenta la misma forma externa de un elemento combustible a fin de eliminar de esta manera partículas extrañas desde el interior del circuito del líquido de refrigeración durante el funcionamiento del reactor.

El invento se basa ahora en el objeto de proporcionar un dispositivo con el que es posible eliminar con seguridad de una manera sencilla, las partículas sólidas dispuestas en el líquido de refrigeración que circula en el circuito primario de un reactor nuclear, particularmente de un reactor nuclear de agua en ebullición.

Este objeto se consigue según el invento con un dispositivo que tiene las características de la reivindicación 1. De acuerdo con estas características, el dispositivo está configurado respecto a sus dimensiones y formas geométricas, de tal modo que puede ser utilizado como un elemento combustible configurado para este reactor nuclear, en lugar de un elemento combustible de este tipo en una posición del elemento combustible vacío del núcleo del reactor nuclear, y presentando una estructura de soporte que se extiende en una dirección longitudinal en la que está dispuesto al menos un separador. Mediante esta medida, se proporciona un dispositivo de filtro o de limpieza que es eficaz durante toda la duración de la operación normal del reactor nuclear, y a través de este largo período de uso elimina gradual- y eficazmente tales partículas sólidas del líquido de refrigeración circulado, es decir, son separadas de la corriente del líquido refrigerante, depositándose en el dispositivo durante el funcionamiento de la planta de energía nuclear. El dispositivo se puede retirar y limpiar, por ejemplo, al final de un ciclo de funcionamiento, como un elemento combustible desde el interior del núcleo del reactor en el contexto de trabajos de servicio y mantenimiento convencional. Una vez eliminadas las partículas sólidas depositadas en su interior, el dispositivo se puede utilizar de nuevo en la misma o en otra posición del elemento combustible vacío para reanudar su funcionamiento después de la puesta en marcha del reactor nuclear. Alternativamente, también es posible que el dispositivo completo sea eliminado como un elemento combustible consumido, cuando haya sido utilizado, por ejemplo, durante varios ciclos de explotación.

Como separadores se han previsto separadores de flujo en los que se produce una separación del líquido de refrigeración y las partículas sólidas por la acción de la gravedad o una fuerza centrífuga. Mediante el uso de un separador de flujo son posibles configuraciones de diseño que tienen una baja resistencia al flujo en caso de un efecto de separación suficiente.

Preferentemente está dispuesta en la estructura de soporte una pluralidad de separadores situados sucesivamente en dirección longitudinal.

En el caso de la estructura de soporte, se trata en particular de una caja hueca. Tal dispositivo es particularmente adecuado para su uso en un reactor nuclear de agua en ebullición.

En una configuración particularmente preferente del invento está previsto como separador, un inserto provisto de una abertura de entrada para el líquido de refrigeración que se puede insertar en la estructura de soporte, presentando opuesto y separado de la abertura de entrada, un dispositivo de desvió para desviar el líquido de refrigeración, y que está provisto de una zona de almacenamiento para la recogida de las partículas sólidas separadas por la fuerza centrífuga durante el desvío. Un separador de este tipo presenta un diseño constructivo sencillo que se puede producir con poco esfuerzo técnico y se adapta flexiblemente a los requisitos específicos de la planta de energía nuclear.

Si el dispositivo de desvío es un separador centrífugo, en particular en forma de un álabe fijo que proporciona al líquido de refrigeración que fluye en la dirección longitudinal dentro de la estructura de soporte, un remolino en torno a esta dirección longitudinal, se logra una alta eficiencia de separación con una baja resistencia al flujo y mínima tendencia a vibraciones inducidas por el flujo.

En un modelo de fabricación preferente adicional están dispuestos sucesivamente una pluralidad de separadores en dirección longitudinal que están conectados entre sí de manera desmontable. Una pila conformada de esta manera se puede incorporar en su totalidad de forma especialmente sencilla en la estructura de soporte o retirarla de ésta.

Si múltiples separadores están dispuestos longitudinalmente uno detrás del otro, los cuales son estructuralmente diferentes entre sí para lograr un efecto de separación diferente, pueden separar con un elevado grado de eficiencia en un único dispositivo, partículas sólidas que difieren geométrica- y físicamente unas de otras, a partir del líquido de refrigeración.

Si la resistencia al flujo del dispositivo es al menos aproximadamente igual a la resistencia al flujo de un elemento combustible, las condiciones hidráulicas en el entorno del dispositivo frente a un funcionamiento con un elemento combustible insertado son influenciadas en cualquier caso en un grado razonable.

En el caso de un núcleo del reactor de un reactor nuclear, en el que se utiliza un dispositivo según el invento en una posición de un elemento combustible vacío, se encuentra éste preferentemente en el borde, en particular, en una posición de esquina, ya que los elementos combustibles que se encuentran en estas posiciones tienen la menor potencia en el núcleo, y por lo tanto la reducción del rendimiento global del núcleo es la más baja, si un elemento combustible de este tipo se sustituye por el dispositivo según el invento.

Para mayor ilustración del invento se hace referencia al ejemplo de fabricación del dibujo. Se muestra en la:

figura 1, dispositivo de acuerdo con el invento en una vista esquemática de su lado longitudinal con una pluralidad de separadores dispuestos sucesivamente,
figura 2, una representación esquemática ampliada del dispositivo en una de sus áreas extremas,
figura 3, una conformación alternativa del invento con separadores, que están diseñados como un separador centrífugo,
figura 4, un separador en estado desmontado en una vista lateral y una vista en planta desde abajo (en dirección del flujo)
figura 5, una vista parcial ampliada del dispositivo mostrado en la figura 3 ,
figura 6, un detalle de la estructura de rejilla de un núcleo del reactor en su área periférica con las posiciones preferentes para la inserción del dispositivo de acuerdo con el invento.

Haciendo referencia a la figura 1, un dispositivo previsto para su uso en el núcleo del reactor de un reactor de agua en ebullición de acuerdo con el invento, contiene una parte extrema inferior 2 y una parte extrema superior 4 provista de un asa 3, que están diseñadas con respecto a su tamaño y forma de tal manera que el dispositivo se puede utilizar como elemento combustible configurado para este reactor nuclear entre una rejilla superior del núcleo y una rejilla inferior del núcleo, en lugar de un elemento combustible de este tipo en una posición del elemento combustible vacío del núcleo del reactor. La parte extrema inferior 2 y la parte extrema superior 4 están conectadas entre sí por medio de una estructura de soporte 8 que se extiende en una dirección longitudinal 6, en este ejemplo una caja que presenta las dimensiones externas de elemento combustible configurado para este reactor de agua en ebullición. Dentro de la caja (estructura de soporte 8) están dispuestos sucesivamente una pluralidad de separadores 10 en dirección longitudinal 6, que son inundados sucesivamente por el líquido de refrigeración que fluye a través del interior de la estructura de soporte 8 en el ejemplo, a través de la caja.

La figura 2 muestra el extremo superior del dispositivo orientado hacia la parte extrema superior 4 con el asa 3 en una vista ampliada. Los separadores 10 están conformados en forma de un inserto insertado en la caja (estructura de soporte 8) y en el ejemplo de fabricación comprenden una placa de soporte 12, que en el centro presenta un orificio de entrada 14, que conduce el líquido de refrigeración K, que fluye en la caja, hacia un canal de flujo 16, cuya sección transversal se estrecha en la dirección de flujo en forma de una boquilla. En la salida del canal de flujo 16 se encuentra un dispositivo de desvió 18, mediante el cual se desvía el líquido de refrigeración K. En este ejemplo de fabricación, el dispositivo de desvió 18 está formado por una cúpula 19, que desvía el líquido de refrigeración entrante en torno a aproximadamente 180°. Entre la cúpula 19 y la pared de la caja, se encuentra una abertura de salida anular 20 de la que emerge el líquido de refrigeración K, de modo que fluye fuera del canal de flujo 16 a lo largo de su pared exterior en la dirección de la placa de soporte 12, que junto con la pared interior de la caja produce un nuevo desvío del líquido refrigerante K en torno también a aproximadamente 180°, de manera que puede fluir hacia arriba (en dirección axial de la parte extrema superior 4) a través de un canal de salida 21 conformado entre la pared de la caja y el dispositivo de desvío 18, hacia el próximo separador 10. El área periférica de la placa de soporte 12 forma un espacio muerto 22 y por lo tanto un área de almacenamiento para partículas sólidas P, que se depositan allí debido a la fuerza centrífuga causada por la desviación inferior del líquido de refrigeración K.

En el ejemplo de fabricación según la figura 3 están previstos en los separadores 10 como dispositivos de desvío 18, separadores centrífugos 23. En este ejemplo de fabricación los separadores 10 también están diseñados como módulos o insertos individuales que se pueden insertar en la caja (estructura de soporte 8). Cada separador 10 presenta un perfil hueco rectangular 24, que en una de sus caras frontales está provisto de la abertura de entrada 14 y en la cara frontal opuesta 25 está abierta. A la abertura de entrada 14 también se anexa un canal de flujo corto 16. En la salida de la abertura que desemboca en el perfil hueco 24, del canal de flujo 16 alineado con la dirección longitudinal 6 dispuesto centralmente, es decir, después del montaje en la estructura de soporte, está dispuesto el separador centrífugo 23 que comprende un cuerpo de soporte estacionario 26 que tiene una pluralidad de palas o álabes 28. Los álabes 28 también se montan fijamente e proporcionan al líquido refrigerante K que fluye en dirección longitudinal 6, un movimiento de rotación en torno a esa dirección longitudinal 6 (un impulso de rotación paralelo a esa dirección longitudinal 6), produciendo de este modo un movimiento del líquido de refrigeración K en una trayectoria helicoidal alrededor de dicha dirección longitudinal 6. Mediante este movimiento de rotación se ejerce sobre las partículas sólidas 22 que fluyen hacia fuera desde el canal de flujo 16, una fuerza orientada hacia fuera (fuerza centrífuga), que las transporta al exterior hacia la pared interior del perfil hueco 24 en las zonas de flujo reducido, donde debido al efecto de la gravedad se sumergen en un espacio muerto 22 en torno al canal de flujo 16, que al mismo tiempo sirve como un espacio de recogida.

En la figura 4 se puede ver que el perfil hueco 24 abierto superior (en estado montado durante el funcionamiento) en su borde frontal 30 (superior) opuesto a la abertura de entrada 14, está provisto de una pluralidad de lengüetas de muelle 32 que se extienden longitudinalmente, en cuyos extremos libres están dispuestos salientes 34 orientados radialmente hacia fuera.

Estos salientes encajan según la figura 5 en las aberturas 36 del separador 10 adyacente sobrepuesto que descansa sobre el borde superior 30 y conforman una unión rápida o de encastre, de modo que los separadores 10 dispuestos en una pila están conectados entre sí en arrastre de forma y pueden ser subidos como una pila desde la estructura de soporte 8. La unión rápida también se puede desbloquear con una herramienta para extraer los insertos individualmente.

En la zona de la abertura de entrada 14, el perfil hueco 24 tiene la forma similar a la de una pirámide truncada, de manera que cuando con un collar 38 dispuesto de manera envolvente sobre la base de la pirámide truncada (véase también la figura 4) se apoya en el borde superior del perfil hueco 24 (en estado montado) del separador 10 subyacente, se proyecta en el interior de éste con su abertura de entrada 14.

En los ejemplos de fabricación mostrados en las figuras 1-5, los separadores están diseñados como separadores de flujo que presentan un dispositivo de desvío que producen un cambio en la dirección de flujo del líquido de refrigeración, en otras palabras un desvío, en el que las partículas sólidas son conducidas a zonas de flujo lento mediante las fuerzas centrífugas que actúan sobre éstas, de donde ya no son transportadas por el líquido de refrigeración y se acumulan en las zonas muertas previstas como espacio de almacenamiento.

La figura 6 muestra una sección del área periférica del núcleo de un reactor 40, cuyas celdas 42 están dotadas de un elemento combustible. En la figura se identifican ahora con una " x " o una "o " las posiciones de un elemento combustible 44,46 en el borde del núcleo del reactor, que son particularmente adecuadas para el uso de un dispositivo de acuerdo con el invento. En este caso se trata preferentemente de posiciones de esquina 46, en las que el dispositivo limita sólo mediante dos bordes laterales con un elemento combustible adyacente. Un reactor nuclear 40 equipado de esta manera con uno o más dispositivos de este tipo garantiza una eliminación segura y permanente de las partículas sólidas desde el interior del circuito primario.

Lista de números de referencia

1	Líquido de refrigeración K
2	parte inferior P partículas sólidas
3	asa
4	parte superior
6	dirección longitudinal
8	estructura de soporte
10	separador
12	placa de soporte
14	abertura de entrada
16	canal de flujo
18	dispositivo de desvío
19	cúpula
20	abertura de salida
21	canal de salida
22	espacio muerto
23	separador centrífugo
24	perfil hueco
25	cara frontal
26	cuerpo de soporte
28	álabe
29	espacio muerto
30	borde
32	lengüeta de muelle
34	saliente
36	abertura
38	collar
40	núcleo del reactor
42	celda
44, 46	posición del elemento combustible

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo para la eliminación de partículas sólidas (22) a partir del líquido de refrigeración (K) que es circulado en el circuito primario de un reactor nuclear, particularmente de un reactor nuclear de agua en ebullición, que está configurado en sus dimensiones y formas geométricas de tal modo que puede ser utilizado como un elemento combustible configurado para este reactor nuclear, en lugar de un elemento combustible de este tipo, en una posición de elemento combustible vacío (44,46) del núcleo (28) del reactor nuclear, y presentando una estructura de soporte (8) que se extiende en una dirección longitudinal (6), en la que está dispuesto al menos un separador (10), caracterizado porque el separador (10) es un separador de flujo en el que se realiza una separación del líquido de refrigeración (K) y las partículas sólidas (22) por la acción de una fuerza centrífuga o de gravedad.

2. Dispositivo según la reivindicación 1, en el que en la estructura de soporte (8) están dispuestos sucesivamente en dirección longitudinal (6) una pluralidad de separadores (10).

3. Dispositivo según la reivindicación 2, en el que los separadores (10) están conectados entre sí de forma desmontable.

4. Dispositivo según una de las reivindicaciones 1 a 4, en el que como estructura de soporte (8) está prevista una caja hueca.

5. Dispositivo según una de las reivindicaciones precedentes, en el que está previsto un inserto como separador (10) provisto de una abertura de entrada (14) para el líquido de refrigeración (K) que se puede insertar en la estructura de soporte, presentando opuesto y separado de la abertura de entrada (14), un dispositivo de desvío (18) para desviar el líquido de refrigeración (K), y que está provisto de una zona de almacenamiento para la recogida de las partículas sólidas (22) separadas por la fuerza centrífuga durante el desvío.

6. Dispositivo según la reivindicación 5, en el que está previsto un separador centrífugo (22) como dispositivo de desvío (18), proporcionando al líquido de refrigeración (K) que fluye en dirección longitudinal (6) de la estructura de soporte (8), un movimiento de rotación alrededor de dicha dirección longitudinal (6).

7. Dispositivo según la reivindicación 6, en el que el dispositivo de desvío (18) comprende al menos una pala fija (28) .

8. Dispositivo según una de las reivindicaciones precedentes, en el que una pluralidad de separadores (10) están dispuestos sucesivamente en dirección longitudinal (6), que para obtener un efecto de separación diferente presentan un diseño diferenciado entre sí.

9. Dispositivo según una de las reivindicaciones precedentes, cuya resistencia al flujo corresponde al menos aproximadamente a la resistencia al flujo de un elemento combustible.

10. Núcleo del reactor de un reactor nuclear 40, particularmente de un reactor nuclear de agua en ebullición, con un dispositivo dispuesto en su interior en una posición de elemento combustible vacío (44,46) según una de las reivindicaciones precedentes.

11. Núcleo del reactor de un reactor según la reivindicación 10, en el que el dispositivo está colocado en una posición del elemento combustible (44, 46) dispuesta en el borde.

12. Núcleo del reactor de un reactor según la reivindicación 10 o 11, en el que el dispositivo está colocado en una posición de esquina (46).

FIG 1

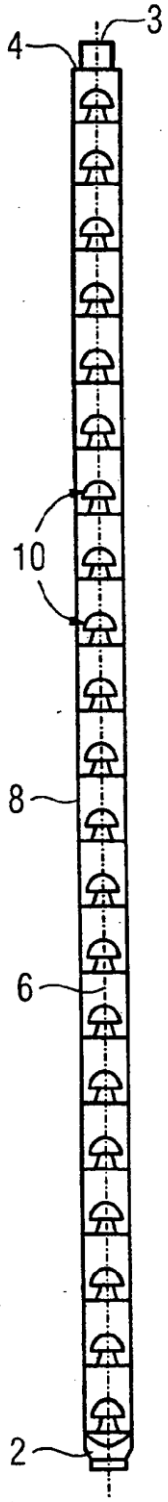

FIG 2

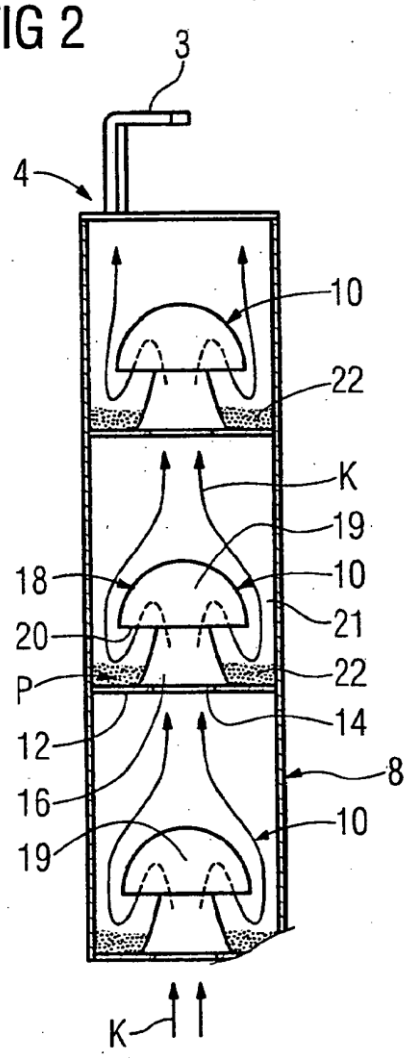

FIG 3

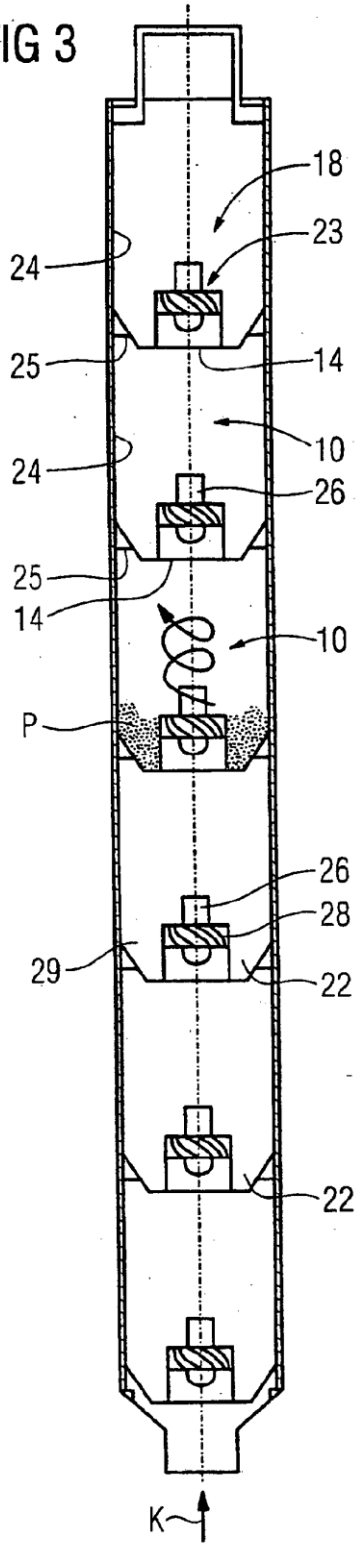
18
23
24
25
14
10
24
26
25
14
10
P
26
28
29
22
22
K

FIG 4

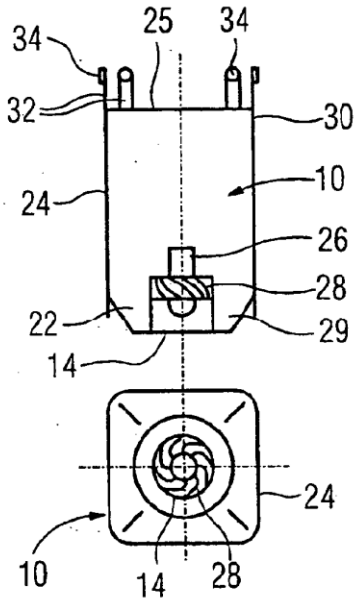
34
25
34
32
30
24
10
26
28
22
29
14
24
10
14
28

FIG 5

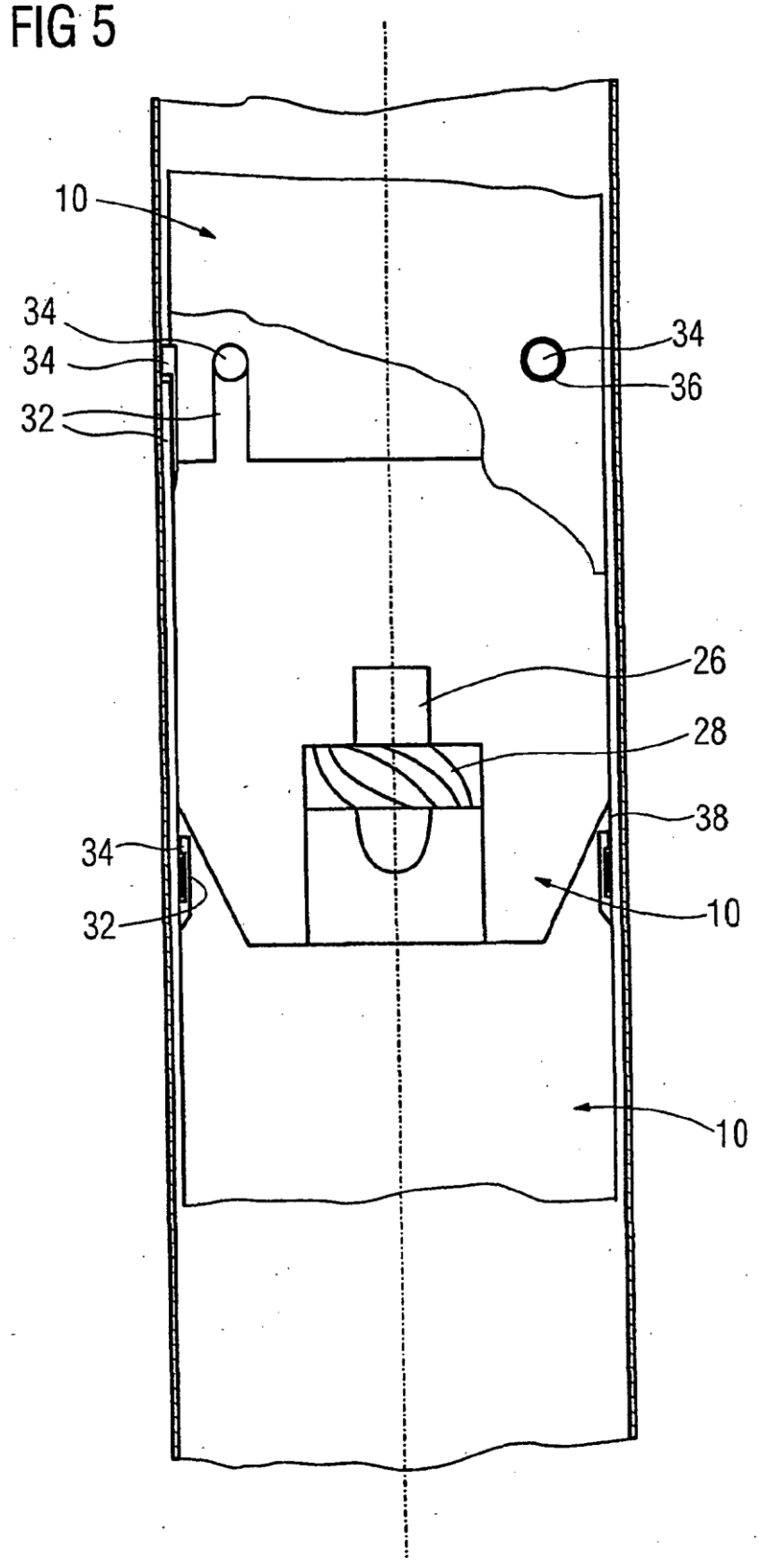
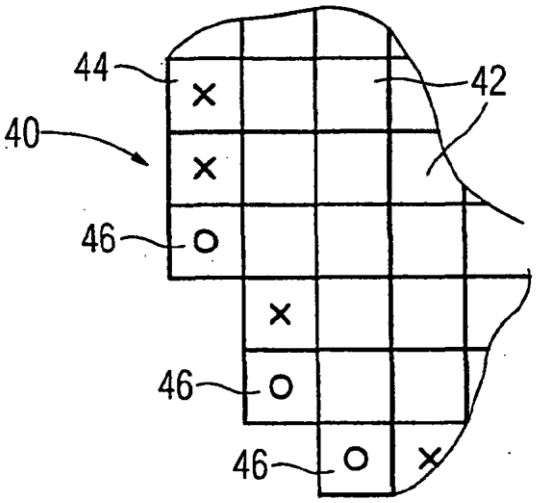
FIG 6