

AHORRO DE COSTES MEDIANTE NUEVAS TECNOLOGÍAS



Ahorro de costes mediante nuevas tecnologías

**Compactación de suelos con costes reducidos –
BOMAG VARIOCONTROL**

Página:

5 – 9



**Rodillos autopropulsados con rodillo poligonal:
mayor utilización en el movimiento de tierras**

10 – 15



**Asfaltado con última técnica de compactación –
ASPHALT MANAGER**

16 – 21



Triturar y compactar roca con rodillos autopropulsados

22 – 25



**Conservación económica y efectiva de carreteras
con el método BOMAG Mix-in-place –
Estabilizador / Reciclador MPH 122**

26 – 31



**Compactación de suelos „superficial“ – Rodillo con bandejas
vibradoras**

32 – 35



Ahorre costes con las nuevas tecnologías

Para compensar el continuo incremento del tráfico en el mundo, hay que construir de forma continua nuevas carreteras, líneas férreas y aeropuertos, y las vías de comunicación ya existentes se deben someter a continuas reparaciones.

Ello conlleva también una gran cantidad de proyectos en movimientos de tierras y asfaltado, que afectan a un número importante de empresas constructoras. En la mayoría de los países, con el aumento de los proyectos, lamentablemente no aumentan automáticamente los presupuestos disponibles. El resultado se puede ver en muchos concursos y en la cada vez más dura competencia entre las empresas.

El cálculo de la oferta es cada vez más laboriosa, y el desarrollo del proyecto se debe estudiar más de una vez. Esto implica también la consideración crítica de cualquier servicio adicional de una máquina, y el calculador / jefe de obra siempre está en busca de nuevas tecnologías para poder realizar una obra a costes aún más favorables.

Los informes que desarrollamos a continuación están pensados para mostrar justamente estos aspectos: novedosas tecnologías con nuevas e „inteligentes“ máquinas que pueden ahorrar tiempo y dinero incluso en estos tiempos.

BOMAG, como fabricante de maquinaria, se enfrenta muy a menudo con muchas normativas de construcción que hacen cuestionarse demasiadas veces: “¿Cuándo fue la última vez que estas normativas fueron realmente reestudiadas de forma crítica?” Sin embargo, los fabricantes de maquinaria y las empresas constructoras sólo pueden destacar con nuevas ideas que faciliten un trabajo más efectivo y más rentable.

Lutz Stallgies
Director, Gestión de Productos

Compactación de suelos a medio gas

Debido a la situación actual de competencia en la industria de la construcción, las empresas son cada vez más conscientes que la gestión de los procesos individuales de construcción es de importancia decisiva para la ejecución rentable de las obras.

Esto corresponde sobre todo a la compactación en la construcción de carreteras y movimiento de tierras, dónde los costes se componen de los siguientes factores:

- el tipo y las características del suelo existente o que se tiene que suministrar,
- de la tecnología elegida para el movimiento de tierras y la construcción de carreteras, y
- riesgos de ejecución que no incluyen costes adicionales no planeados, p.ej. trabajos en garantía no esperados.

El presente artículo describe como se pueden reducir eficazmente los costes de los dos últimos puntos en la compactación de suelos con la tecnología VARIOCONTROL desarrollada por la empresa BOMAG. A este efecto se explica la técnica de la maquinaria de VARIOCONTROL (BVC), se describen 3 ventajas de forma detallada y se demuestra el potencial de ahorro con el ejemplo de 2 cálculos modelo.

Técnica de maquinaria

En los rodillos autopropulsados con BVC, la energía de compactación que es introducida verticalmente al suelo por el sistema de vibración del compactador, es adaptada de forma automática en función de la rigidez ya existente y de un valor teórico anteriormente especificado. La magnitud de medición y de regulación en todo ello es el módulo de elasticidad dinámico E_{vib} . Para el cálculo de este valor se mide la reacción del rodillo sobre el suelo a compactar. La tecnología de la maquina utilizada en rodillos autopropulsados con BVC se puede ver en [Figura 1](#).

Con dos captadores de aceleración se determinan las vibraciones del rodillo. La unidad de mando y salida de BVC y el interfaz hacia el operador del compactador es el BOMAG Operating Panel



Fig. 1: Rodillo autopropulsado de 13 t con BVC en servicio

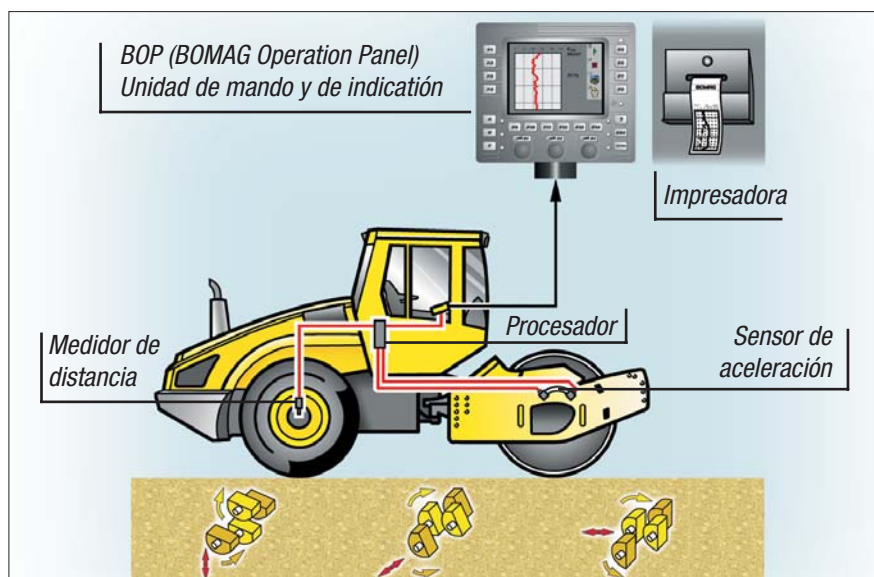


Figura 2: Los componentes técnicos de BVC

(BOP), que se encuentra en la cabina a la vista del operador. Para documentar la distancia cubierta por el compactador, integrado en el eje trasero se encuentra un captador de distancia. Sin embargo, el verdadero núcleo del BVC es un procesador que utiliza valores de aceleración medidos en el rodillo para

calcular el valor actual del módulo de elasticidad dinámico. Después de la comparación de este valor con el valor teórico prefijado por el operador en el BOP se determina la magnitud de la energía de compactación que se debe introducir al suelo, y se toma como base para la regulación del excitador BVC.

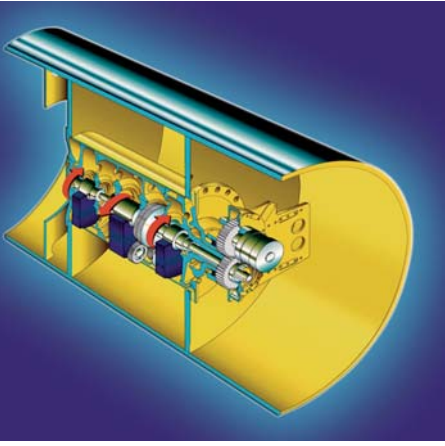


Figura 3: El interior del excitador BVC

El mismo excitador BVC consiste en dos árboles alojados de forma concéntrica con tres masas de vibración rotatorias, con la masa en el centro girando en sentido opuesto a los dos exteriores. Las fuerzas centrífugas que resultan se acumulan y conforman vibraciones dirigidas. Debido a la rotación continua de todo el excitador en un margen de 0° y 90° la energía de compactación vertical se regula entre 0 y máximo. En caso del excitador BVC, por lo tanto, no se cambia automáticamente la amplitud, que siempre es la máxima, sino la componente vertical resultante de la energía de compactación dominante para la compactación del suelo correspondiente al módulo de elasticidad dinámico presente y que se debe alcanzar (Figura 3). Con una regulación del excitador de 0°- posición horizontal del excitador – se introducen fuerzas transversales al suelo con el efecto de una compactación „muy suave“. El operador del compactador tiene la posibilidad adicional de fijar manualmente 6 posiciones del excitador o bien grados de energía.

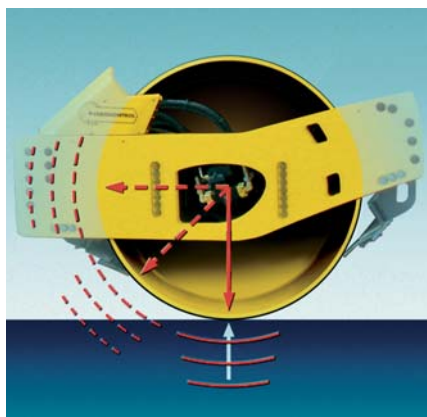


Figura 4: Regulación continua del excitador BVC

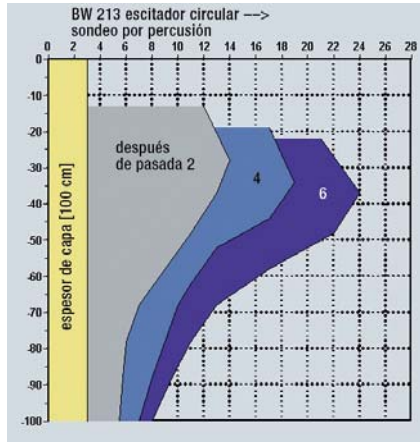


Figura 5.1: Resultado de la compactación con un rodillo autopropulsado convencional de 13 t

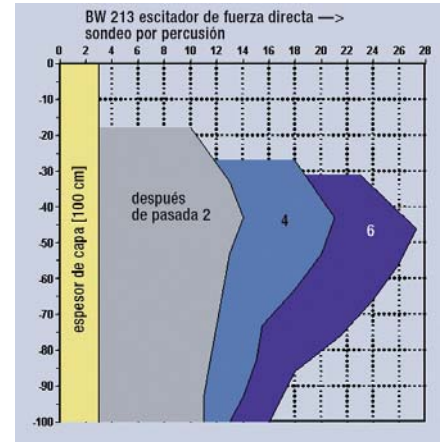


Figura 5.2: Resultado de la compactación con un rodillo autopropulsado de 13 t con BVC

Del excitador BVC se puede decir con todo derecho que es la innovación de productos más destacada en la técnica de compactación de las últimas décadas, en cuanto a novedad técnica y éxito en el mercado, de lo cual derivan ventajas decisivas para el contratista en el movimiento de tierras y construcción de carreteras que se explican a continuación de forma detallada.

Primera ventaja: Mayores alturas de capa

Las alturas de capa permitidas por el cliente con el mismo número de pasadas tienen influencia directa sobre el rendimiento del compactador y sobre los precios de coste en el movimiento de tierras. Con el mismo ancho de trabajo y la misma velocidad, la carga lineal estática y la amplitud son los parámetros más importantes para la capacidad de compactación de un rodillo autopropulsado.

Los rodillos autopropulsados BOMAG con BVC pueden ofrecer bastante en relación a estos dos parámetros. La máxima amplitud de compactación de los diferentes compactadores BVC está entre 2,3 y 2,5 mm. El promedio industrial está de 1,7 mm a 1,8 mm. Y la carga lineal estática además está considerablemente por encima de la de rodillos autopropulsados convencionales. El resultado es una capacidad de compactación sobresaliente de los rodillos autopropulsados con BVC. Esto se ha confirmado en numerosos ensayos. Las figuras 5.1 y 5.2 muestran la evaluación de un campo de ensayo donde se ha compactado un estratificado por capas

de un espesor de 1 m con un rodillo autopropulsado convencional de 13 t y un rodillo autopropulsado con BVC de la misma clase de peso. El material utilizado fue una gravilla arcillosa.

Los mayores asentamientos en la superficie de la capa compactada y el número de impactos del sondeo por percusión considerablemente más alto comprueban la superior capacidad de compactación de los rodillos autopropulsados con BVC en comparación con rodillos autopropulsados convencionales con vibrador circular. Llevado a la práctica significa que, con estos modernos compactadores se pueden compactar capas de un espesor considerablemente más elevado.

Contrario a lo anterior, el número de pasadas se puede reducir de forma significativa en la construcción de carreteras donde el espesor de las capas a colocar muchas veces está predefinido. Capas más gruesas o menos pasadas, las dos cosas tienen un efecto positivo para los costes directos de los trabajos de compactación a realizar. Lo que se puede ahorrar precisamente está demostrado a continuación en detalle en dos cálculos modelo, una para una medida de obra en el movimiento de tierras y otra para la construcción de carretera. Los costes totales por hora incluidos de costes para reparación y operación. Para ello no se han utilizado porcentajes recomendados en listas de equipos de construcción (BGL), sino los valores BOMAG obtenidos a base de muchos años de evaluaciones estadísticas.

El resultado no puede ser más claro. A pesar de los costes de inversión considerablemente más altos para el rodillo autopropulsado con BVC, en la construcción de carreteras es posible ahorrar con esta técnica aprox. un 17% en los trabajos de compactación a realizar. En el movimiento de tierras esta ventaja se presenta aún más drástica. En este caso, los costes se pueden reducir hasta el 30%. En los dos escenarios pueden resultar otros ahorros de costes adicionales, dado que es posible aumentar el rendimiento en función de la combinación de maquinaria elegida (p.ej. movimiento de tierras: más altas capas aumentan el rendimiento del bulldozer).

Segunda ventaja: Resistencia homogénea para construcciones resistentes a daños

Sin embargo, con el BVC no sólo los costes de construcción directos se pueden mejorar, sino también disminuyen los riesgos de ejecución difíciles de definir y que se toman en consideración para el cálculo de construcción con el recargo para riesgos. Estos pueden ser p.ej. en prestaciones de obra no esperadas a realizar por el contratista dentro del período de garantía.

La causa de daños, p.ej. de la parte superior de una superficie reservada al tráfico, muchas veces se debe a la resistencia no uniforme del subsuelo en combinación con la carga por el tráfico. El resultado son deformaciones plásticas como p.ej. una excesiva flexión o comba del cuerpo de la carretera. La eliminación de estos defectos de construcción casi siempre es muy costosa y puede ser extremadamente desfavorable para la rentabilidad de una obra, dado que normalmente incluye la renovación de la capa superior ligada.

¿Y como puede ayudar el BVC al contratista a evitar los deterioros de construcción anteriormente descritos? Para esto se propone la regulación automática de la energía de compactación introducida en el suelo de la obra. Dado que el operador del rodillo autopropulsado especifica antes de los trabajos de compactación un valor teórico del módulo de elasticidad dinámico E_{VIB} , resultan en-

Cálculo de costes de una obra ficticia en movimiento de tierras con espesor óptimo de la capa (Combinación de los equipos óptimamente coordinada, sin costes salariales ni recargos)		
Descripción de la obra:	Compactar el suelo Demandas normales a la densidad Tipo del suelo: Grava 100.000 m³	
	BW 213 D-4	BW 213 DH-4 BVC
Fórmula para cálculo capacidad L_t	$L_t = 60 (b - \ddot{u}) v_a h_d / n$ b = Ancho de trabajo $\ddot{u}$ = Recubrimiento de pasadas v_a = Velocidad de trabajo en m/min (75% de la velocidad de compactación) n = Número de pasadas h_d = Espesor de capa	
Espesor de capa en m	0,50	0,80
Cálculo de L_t en m³/h	60 (2,13 - 0,13) 0,75 x 50 x 0,5 / 6	60 (2,13 - 0,13) 0,75 x 50 x 0,8 / 6
Capacidad en m³/h	375	600
Costes totales/hora en €/Eh (sin costes salariales)	30,25	33,45
Costes totales para la compactación de 100.000 m³ (sin costes salariales y recargos)	8.067	5.575
El resultado: Ahorro de costes para maquinaria con utilización de rodillos autopropulsados con BOMAG VARIOCONTROL: 30%		

Tabla 1: Potencial de ahorro por BVC en una obra de movimiento de tierras

Cálculo de costes para una obra ficticia de construcción de carreteras con espesor de capa especificado (Combinación de los equipos óptimamente coordinada, sin costes salariales ni recargos)		
Descripción de la medida de obra:	Compactar el suelo Altas demandas a la resistencia Material: Capa anticongelante 20.000 m³	
	BW 213 D-4	BW 213 DH-4 BVC
Fórmula de cálculo de capacidad L_t	$L_t = 60 (b - \ddot{u}) v_a h_d / n$ b = Ancho de trabajo $\ddot{u}$ = Recubrimiento de pasadas v_a = Velocidad de trabajo en m/min (75% de la velocidad de compactación) n = Número de pasadas h_d = Espesor de capa	
Número de pasadas	8	6
Cálculo de L_t en m³/h	60 (2,13 - 0,13) 0,75 x 50 x 0,3 / 8	60 (2,13 - 0,13) 0,75 x 50 x 0,3 / 6
Capacidad en m³/h	165	225
Costes totales/hora en €/Eh (sin costes salariales)	30,25	33,45
Costes totales para la compactación de 20.000 m³ (sin costes salariales y recargos)	3.580	2.973
El resultado: Ahorro de costes para maquinaria con utilización de rodillos autopropulsados con BOMAG VARIOCONTROL: 17%		

Tabla 2: Potencial de ahorro por BVC en una obra de construcción de carretera

tonces que el BVC introduce en el suelo sólo la energía necesaria para alcanzar el valor teórico. Con la aproximación gradual del valor actual de la resistencia

al valor teórico, el BVC reduce de forma automática la energía de compactación introducida, a cuyo efecto los valores E_{VIB} se van adaptando a la capa del su-

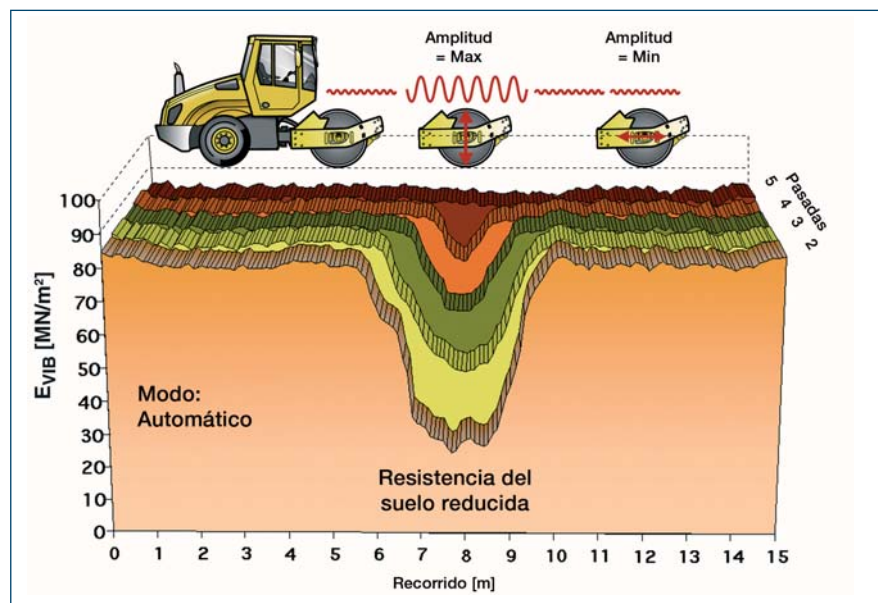
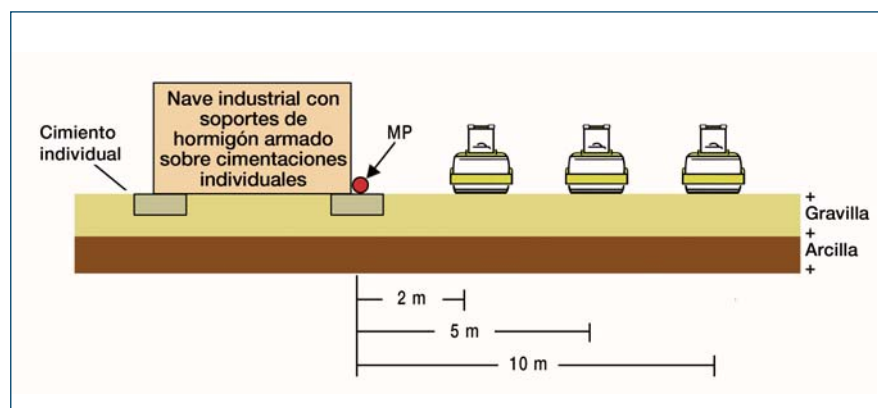


Figura 6: Rígidez homogénea con BVC



		Velocidad de vibración [mm/s]		
		Distancia del rodillo al punto de medición [MP]		
		2 m	5 m	10 m
BW 177 DH-3 VARIOCONTROL	0° (horizontal)	1.51	1.21	0.70
	18°	2.39	2.08	1.08
	36°	2.94	2.47	1.24
	54°	3.19	2.58	1.29
	72°	3.65	2.69	1.41
	90° (vertical)	3.96	2.73	1.45
BW 177 DH-3 Rodillo autopulsado convencional	amplitud grande	3.38	2.54	1.31
	amplitud pequeña	3.25	1.21	0.87

Valores de referencia para máxima velocidad de vibración sobre cimientos según DIN 4150-3: 3 mm/s

Figura 7: Medición de la vibración de rodillos autopulsados de 7 t con y sin BVC

elo. Así se evita fiablemente una compactación excesiva del suelo. Como se muestra en la Figura 5, el resultado es una máxima homogeneidad en cuanto a la resistencia del terreno encima de la rasante. Asentamientos que pueden causar deterioros en la estructura superior se pueden evitar con persistencia.

Además, se pueden utilizar rodillos autopulsados equipados con BVC para identificar asientos de resistencia en un cuerpo de carretera ya existente y realizar una compactación posterior apropiada. Esta aplicación será de mayor significado dentro de los próximos años, especialmente para los saneami-

entos y reparaciones de las carreteras que aumentan de forma drástica. La posibilidad de alcanzar la resistencia exigida con el material del suelo existente naturalmente es una condición básica para esto.

Tercera ventaja: Limitación de vibraciones perjudiciales

Quién no conoce este problema: Se producen daños en edificios en la cercanía durante la compactación de la parte inferior o superior, o vecinos se sienten molestos por las vibraciones. En caso de compactadores estándar, el operador sólo tiene la posibilidad de trabajar con la amplitud pequeña, si la máquina dispone de un sistema de vibración de 2 grados, o en un caso extremo de compactar de forma estática. Ambos métodos provocan una considerable reducción del rendimiento de compactación del equipo de construcción. La seriedad de este tema se demuestra en los numerosos conflictos que más de una vez se llevan ante un juzgado y como consecuencia pueden causar un incalculable riesgo financiero para la empresa constructora. BVC es un medio probado también para estos problemas.

Como anteriormente se mencionó, en la tecnología BVC existe la posibilidad de ajustar manualmente seis grados la energía de compactación o amplitud introducida al suelo por el rodillo autopulsado. Esto facilita optimizar la capacidad de compactación para este tipo de obras sin sobrepasar valores límite relevantes a la vibración para personas y edificios. Dado que la transmisión de las vibraciones se presenta siempre distinta, dependiendo de las condiciones de la obra o del suelo, para obras críticas hay que determinar los valores admisibles para la amplitud por medición de las vibraciones antes o durante la ejecución de la obra. La figura 6 indica las velocidades reales de vibración que se midieron a diferentes distancias y posiciones del excitador en una cimentación individual durante el servicio de un rodillo autopulsado de 7 t con BVC.

En comparación con máquinas estándar, se puede ver enseguida que el operador de rodillos autopulsados con

BVC, en obras críticas en cuanto a la vibración, dispone de muchas más posibilidades para adaptar la capacidad de compactación.

En segundo lugar, se puede ver que en esta obra específica se ha podido compactar sólo estáticamente con un rodillo autopropulsado estándar desde una distancia de 2 m hasta el cimiento, dado que el valor límite de 3 mm/s para la velocidad de vibración especificado en DIN 4150-3 fue sobrepasado por mucho con vibración. Con el rodillo autopropulsado BVC en cambio, fue posible trabajar por lo menos con un ajuste del excitador de 36° o sea con una amplitud de 1,1 mm. Esto significa para este caso específico, que el operador del compactador disponía de una capacidad de compactación mucho mayor, simultáneamente con una reducción de los riesgos de daños en los edificios existentes en la zona de la obra.

Resumen

El presente informe y las ventajas explicadas en detalle demuestran que los precios de coste de la obra y los riesgos de ejecución se pueden reducir considerablemente con la aplicación de técnica de compactación moderna, como

p.ej. rodillos autopropulsados con BVC. En cálculos modelo se demuestra claramente que se pueden ahorrar costes hasta el 30% con la utilización del BVC en el movimiento de tierras dónde las capas se pueden optimizar de acuerdo con la capacidad de compactación del equipo de construcción.

En la construcción de carreteras las capas a colocar normalmente están especificadas. Sin embargo, también con una de estas aplicaciones todavía se puede ahorrar el 17% con este producto innovativo debido a la reducción del número de pasadas del compactador en comparación con rodillos autopropulsados convencionales.

Otro aspecto se refiere a los riesgos de ejecución. Estos también se pueden reducir considerablemente mediante la aplicación del BVC. De ellos se ocupa la adaptación automática de la energía de compactación introducida al suelo, por lo que el subsuelo presenta una resistencia muy homogénea después de la terminación de los trabajos, reduciendo considerablemente de esta forma el riesgo por posteriores deterioros de la construcción por diferentes asentamientos.

El último punto discutido fue la limitación de la energía de compactación introducida en el suelo. Esto es de especial importancia durante la compactación en la cercanía de edificios existentes. BVC en este caso permite maximizar la capacidad de compactación reduciendo simultáneamente el riesgo de deterioros de los edificios.

En conclusión, se puede decir que la disponibilidad y el conocimiento de las ventajas de rodillos autopropulsados con BVC suponen para el contratista no sólo una considerable ventaja frente a la competencia en la ejecución de obras, sino también durante el régimen de contratación.

El texto completo de esta aportación como otros cálculos de capacidad y costes para la compactación en el movimiento de tierras y construcción de carreteras pueden encontrarlo de la página de BOMAG: www.bomag.com.

Dirk Janitzki
(Jefe de Producto Rodillos
Autopropulsados)

Rodillos autopropulsados con rodillo poligonal conquistadores en el movimiento de tierras

En el primer artículo de la serie de publicaciones: „Ahorro de costes por nuevas tecnologías“ el foco estaba en la compactación inteligente con rodillos autopropulsados VARIOCONTROL.



Figura 1: Rodillo autopropulsado BW 213 DI-4 BVC con rodillo poligonal

En la presente y segunda publicación técnica se presentan de forma detallada las ventajas de los rodillos autopropulsados con rodillo poligonal (llamados rodillos autopropulsados DI) en la compactación en el movimiento de tierras.

Un punto especialmente positivo de estos equipos de compactación es la excepcional acción en profundidad que puede aumentar considerablemente la rentabilidad en el movimiento de tierras. Para ilustrar la ventaja financiera para el contratista, después de la descripción de la estructura, el especial modo de

acción y la aplicación de los rodillos autopropulsados con rodillo poligonal, como en la primera publicación técnica, se demuestran los posibles ahorros de costes a través de cálculos modelo prácticos.

„Esto es la clave“

En los rodillos autopropulsados DI se utilizan dos innovaciones de producto de BOMAG: Por una parte el mismo rodillo poligonal y por otra parte la tecnología de VARIOCONTROL. A pesar de las detalladas explicaciones en la primera publicación técnica, es preciso

resumir aquí otra vez las ventajas del BVC:

1. Alta capacidad de compactación por cargas lineales estáticas y amplitudes máximas, por lo que se puede aumentar el espesor de las capas o sea reducir el número de las pasadas de compactación (se puede lograr un ahorro de costes entre el 30% y el 17%).
2. Adaptación automática de la energía de compactación introducida al suelo por el rodillo autopropulsado que produce una resistencia homogénea de toda la superficie de las capas de suelo compactadas, lo que aumenta la resistencia duradera de las construcciones (se evitan trabajos de garantía), y
3. Reducción de vibraciones dañinas para edificios dentro de la zona de construcción por preselección manual de seis diferentes amplitudes de compactación (reducción del riesgo de daños).

El contratista puede confiar en estas ventajas también con los rodillos autopropulsados DI. Además, en estas máquinas

4. la capacidad de compactación es considerablemente más alta por la mejor introducción de la energía de compactación al suelo.

Estructura del rodillo poligonal

El rodillo poligonal consiste en tres elementos octogonales soldados en su eje axial, y cada uno desplazado del siguiente segmento. Para facilitar el transporte sobre suelos sólidos hay anillos colocados en los cantos exteriores del cuerpo del rodillo (Figura 1). Por el excelente efecto de autolimpieza de los rodillos poligonales se puede prescindir de rascadores.

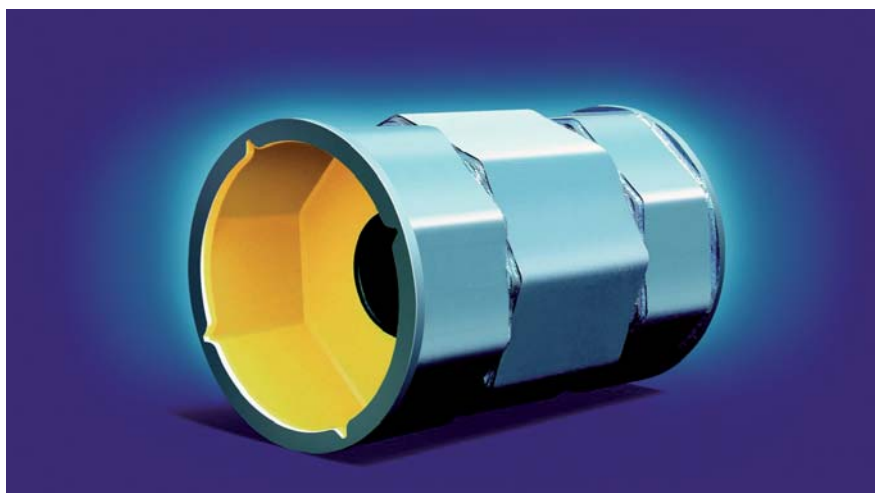


Figura 2: Estructura del rodillo poligonal

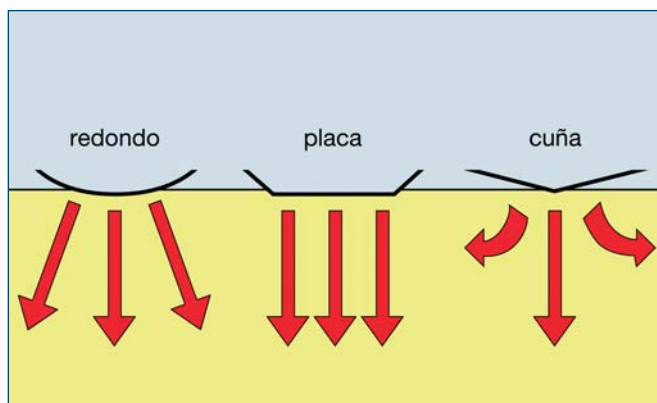


Figura 3: Sentido de la introducción de fuerza con rodillo redondo y poligonal

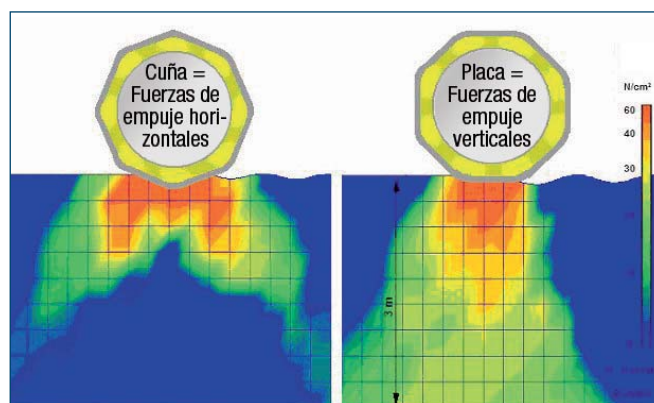


Figura 4: El éxito es el diferente sentido de la introducción de fuerza

Modo de acción del rodillo poligonal

El secreto del extraordinario efecto de compactación y profundidad del rodillo poligonal es el continuo cambio del sentido de introducción de la energía por el permanente cambio entre cuña y placa al pasar por la superficie. Fuerzas verticales son introducidas a través de

los segmentos de placa en la capa del suelo a compactar. Con la acción de las cuñas se producen esfuerzos cortantes con efecto de un desplazamiento lateral de las partículas del suelo (Figura 2).

Por un lado esto produce una zona más o menos suelta en la superficie cuya acentuación depende del tipo de suelo a compactar. Por otro lado – y esto es lo

extraordinario del rodillo poligonal – debido a este principio se evita el indeseable efecto con rodillos redondos de la formación de tapa en la superficie del estratificado por capas. La energía de compactación así puede pasar sin impedimento a las zonas más profundas del suelo.

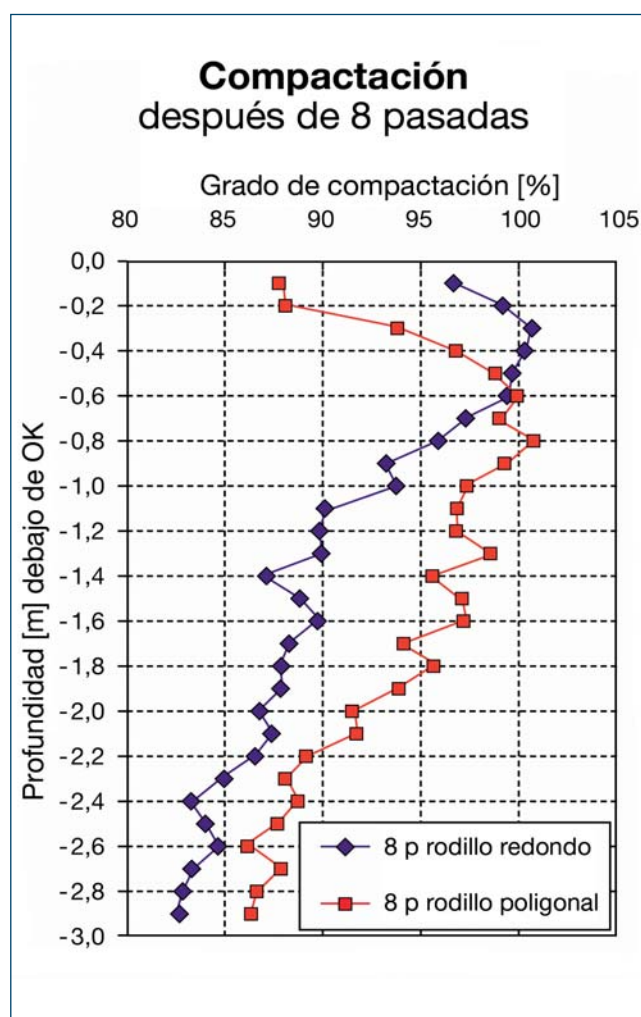
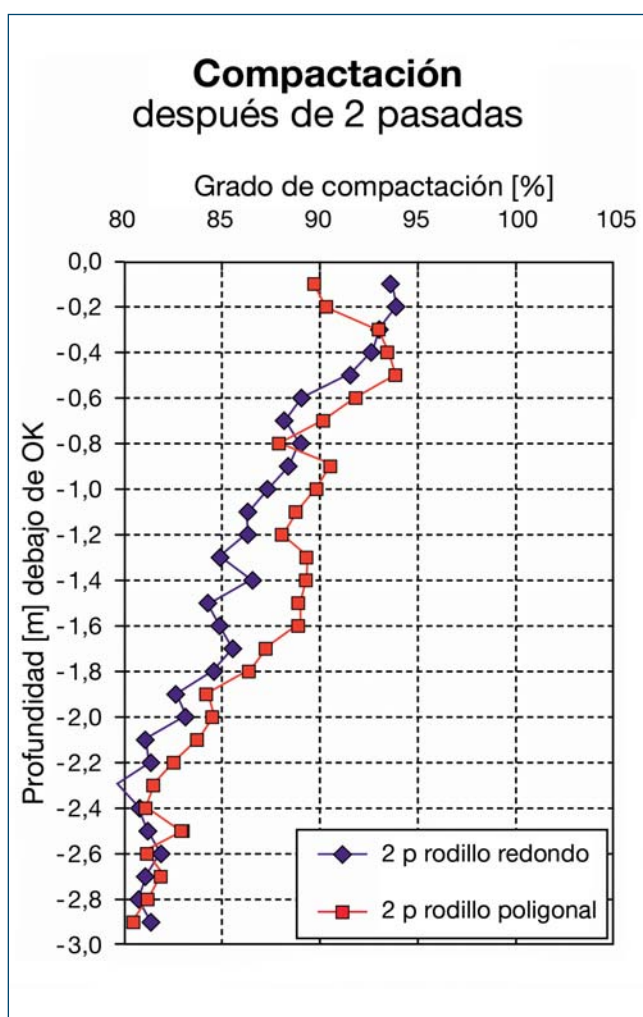


Figura 5: Grados de compactación alcanzados en el terraplenado de 3 m, después de 2 y 8 pasadas

Aplicación	BW 213 DI-4 BVC (15 t de peso de servicio)	BW 226 DI-4 BVC (26 t de peso de servicio)	Nota
Distinción por objetivo de obra			
Compactación de gruesas capas	++	+++	En capas delgadas, menos apropiado.
Compactación posterior	++	+++	En función del tipo de suelo se producen aflojamientos en la superficie
Destrucción de superficies de hormigón	–	+++	Base estable necesaria, max. 25 cm
Distinción por tipo de suelo			
Compactación de suelos no cohesivos	++	++	Fuerte aflojamiento en la superficie
Compactación de suelos de grano mixto	+++	+++	Moderado aflojamiento en la superficie
Compactación de suelos cohesivos	+++	+++	Muy poco o nada de aflojamiento en la superficie
Explicaciones: +++ muy apropiado ++ bien apropiado – no apropiado			

Tabla 1: Recomendaciones de aplicación para rodillos autopropulsados DI de BOMAG

¿Dónde está la prueba?

Desde la introducción al mercado de los rodillos autopropulsados DI hace unos 2 años, no sólo BOMAG, sino numerosas otras instituciones, oficinas de estudios técnicos y empresas constructoras se ocupan del efecto y la capacidad de estos equipos de compactación. Bien sea para controlar las especificaciones de

BOMAG con ensayos propios, o bien para determinar el óptimo modo de trabajo con este nuevo tipo de compactadores en el desarrollo de obras. Los resultados siempre han sido los mismos: una acción en profundidad considerablemente más elevada de los rodillos autopropulsados en comparación con máquinas estándar. El resultado de un estudio practicado en la empresa

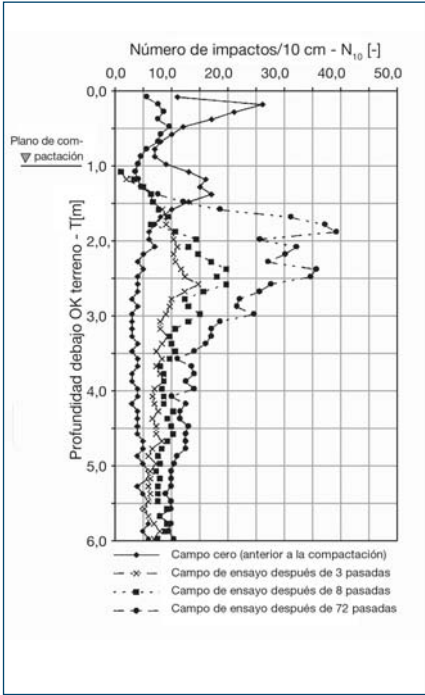


Figura 6: Números de impactos determinado por FUGRO después de compactación con rodillo autopropulsado de 26 t sobre material de basurero

BOMAG debe confirmar a continuación esta manifestación:

Para esto, se compararon la acción en profundidad de un rodillo autopropulsado DI de 26 t con un rodillo autopropulsado del mismo tipo con rodillo redondo sobre un terraplenado de 3 m de grava muy arcillosa (GU*). Durante un muy extenso programa de ensayos se efectuaron mediciones de asentamientos, sondeos por percusión, mediciones de densidad y de tensión de compresión. La evaluación de las mediciones de la tensión de compresión (Figura 4) confirma el diferente sentido de introducción de la fuerza por el rodillo poligonal en el suelo.

Las mediciones de la densidad se realizaban con el método de sustitución con arena y sonda isotópica. El desarrollo de las densidades medidas está presentado en la Figura 4 para el rodillo autopropulsado con rodillo poligonal y redondo. Se puede ver claramente que el rodillo autopropulsado DI deja el equipo estándar muy atrás respecto a los grados de compactación alcanzados, con excepción de la zona cercana a la superficie. Hasta una profundidad de 3 m se ha comprobado un grado de compactación de aprox. un 8 % más. Esto demuestra de forma impresionante la capacidad de estos compactadores.



Figura 7: Justo en su sitio - el BW 226 DI-4 BVC durante el duro servicio en el movimiento de tierras.

Otros estudios

La Asociación Regional de Construcción ha efectuado un ensayo similar al anterior en un campo de ensayo de arena arcillosa (SU*). Los grados de compactación alcanzados se determinaron con sondeos por percusión. El resultado fue muy claro. En la sección del terreno compactado con el rodillo poligonal se determinaron impactos considerablemente más altos a través de todo el terraplenado hasta la profundidad final del sondeo de 1,50 m, excepto en la superficie de la capa.

Respecto a la preparación de la oferta para el proyecto: B 95 – carretera de circunvalación de Borna“ ha efectuado un estudio previo sobre la capacidad de un rodillo autopropulsado DI de 26 t en un terreno de escombros anterior una conocida empresa constructora en cooperación con FUGRO CONSULT GmbH y BOMAG. En las condiciones locales se determinó un seguro efecto de compactación hasta una profundidad de 3 m. Un cambio significativo del valor característico o del efecto de compactación se ha podido comprobar hasta una profundidad de 4 m (vean Figura 6).

Recomendaciones de aplicación

De momento BOMAG dispone en su gama de dos modelos de rodillos autopropulsados DI, con un peso de servicio de 15 t y 26 t respectivamente, cada uno con un ancho de trabajo de 2,13 m. A base de los conocimientos actuales y de la práctica en obras referente al efecto de compactación de estas máquinas, se pueden deducir las siguientes recomendaciones de aplicación:

En referencia a los aflojamientos que se producen en la superficie del estrato del suelo compactado en suelos no cohesivos y de grano mixto, en la práctica la compactación posterior es lo corriente al colocar y compactar la siguiente capa de suelo.

Aplicación 1: Máximas alturas de apilado

En la última publicación técnica: „Compactación de suelos a régimen reducido“

Cálculo de costes para proyecto en movimiento de tierras: Compactación de suelo con máximo espesor de capa (Combinación de los equipos óptimamente adaptada)

Descripción de la medida de obra:	Compactación del suelo en el terraplén Demandas normales a la densidad Tipo del suelo: Suelo mixto 500.000 m³	
Alternativas para la ejecución de la obra:	BW 226 DH-4 (Rodillos autopropulsado estándar)	BW 236 DI-4 BVC (Rodillo autopropulsado con rodillo poligonal)
Formula para cálculo capacidad L_t	$L_t = 60 (b - \ddot{u}) v_a h_d / n$ b = Ancho de trabajo $\ddot{u}$ = Recubrimiento de pasadas v_a = Velocidad de trabajo en m/min (75% de la velocidad de compactación) n = Número de pasadas h_d = Espesor de capa	
Espesor de capa en m	1,0	1,50
Cálculo de L_t en m³/h	60 (2,13 - 0,13) 0,75 x 50 x 1,0 / 6	60 (2,13 - 0,13) 0,75 x 50 x 1,5 / 6
Capacidad en m³/h	750	1.125
A+V+R en Euros/m³	0,03	0,02
Soko en Euros/m³	0,03	0,02
Costes salariales en Euros/m³	0,07	0,05
Precio unitario en Euros/m³	0,13	0,09
Precio en Euros para la compactación de 500.000 m³	65.000	45.000
El resultado: Ahorro de costes de construcción con utilización de rodillos autopropulsados DI: 30 %		

Tabla 2: Cálculo de costes para una obra con elevadas terraplenados en el movimiento de tierras

Cálculo de costes para el proyecto: Rotura de firme de hormigón

Descripción de la medida de obra:	Aflojar firme de hormigón Espesor del firme: aprox. 25 cm 25.000 m³	
Alternativas para la ejecución de la obra:	Placa machacadora	BW 226 DI-4 BVC (Rodillo autopropulsado con rodillo poligonal)
Precio unitario en Euros/m²	0,35	0,26
Oferta en Euros para el aflojamiento de 25.000 m² de firme de hormigón:	8.750	6.500
El resultado: Ahorro de costes total con utilización de un Rodillo autopropulsado DI: 25 %		

Tabla 3: Cálculo de costes para la destrucción de firme de hormigón

se detallaron las ventajas de costes debido a la alta capacidad de compactación de los rodillos autopropulsados con BVC. Con el rodillo poligonal BOMAG da otro paso más hacia adelante. Los resultados de los estudios anteriormente mencionados comprueban que la capa a compactar puede aumentar o a través considerablemente en comparación con rodillos autopropulsados convencionales e incluso con rodillos autopropulsados con BVC.

Así se colocaron en el aeropuerto de Hahn durante la construcción de la prolongación de la pista de despegue y aterrizaje espesores de capas de 1,50 m con suelos de grano mixto y de 1,0 m con suelos cohesivos, y se compactaron con un rodillo autopropulsado DI de 26 t.

Como otro ejemplo impresionante se puede mencionar la obra de la autovía

Cálculo de costes para el proyecto: Mejora de un subsuelo existente para la nueva construcción de una carretera						
Descripción de la obra:		Bonificar el subsuelo hasta 4 m debajo del borde superior del terreno para la construcción de una carretera, Terreno de vertedero, el suelo es apto para compactar				
Ejecución del proyecto:		Soltar el suelo hasta la profundidad a partir de la cual el subsuelo restante se puede compactar posteriormente hasta 4 m debajo del borde del terreno, y depositarlo lateral. Compactación ulterior del restante material de vertedero con rodillos autopropulsados, y después volver a colocar y compactar el material depositado lateral				
Alternativas para la ejecución de la obra:		Escenario 1 (compactación con dos rodillos autopropulsados de 26 t normales) GOK = 0.0 m			Escenario 2 (Compactación con un rodillo autopropulsado de 26 t con rodillo poligonal) GOK = 0.0 m	
		Aflojar suelo, transportar, almacenar al lado y volver a echarlo y compactarlo. -2,5 -4 Compactar con autopropulsado			Aflojar suelo, transportar, almacenar al lado y volver a echarlo y compactarlo. -1,5 -4 Compactar con autopropulsado poligonal	
		Cantidad	PU en Euro	PT en Euro	Cantidad	PU en Euro
Descripción del trabajo:						PT en Euro
Pos. 1 Soltar, cargar, transportar y depositar el suelo 3-5 en la zona de obra m³		50.000	3,20	160.000	30.000	3,20
Pos. 2 Compactación posterior del suelo 3-5 m³		20.000	0,13	2.600	20.000	0,14
Pos. 3 Cargar, transportar, colocar y compactar el suelo 3-5 depositado en la zona de obra m³		50.000	3,54	177.00	30.000	3,45
Precio oferta del proyecto en Euros:				339.600		202.300
El resultado: Ahorro de costes para el proyecto total con utilización de rodillos autopropulsados DI: 40 %						

Tabla 4: Cálculo de costes para la mejora del subsuelo

estructura del terraplén también se colocó y compactó suelo de grano mixto en terraplenados de 1,50 m. Loa ahorros para el cliente y el contratista fueron enormes.

Cuanto se puede ahorrar en un proyecto de obra así, se demuestra en detalle con la siguiente determinación de costes. Los asientos aplicados en el cálculo toman en consideración los costes para



Figura 8: Destrucción de firme de hormigón con un rodillo autopropulsado DI

paración, operación y los recargos en función de la calculación. Igual que en la publicación técnica sobre BVC, para determinar los costes de máquina no se aplican los porcentajes recomendados en las lista de equipos de construcción (BGL), sino valores BOMAG obtenidos a base de muchos años de evaluaciones estadísticas.

Un precio de oferta 30 % más bajo por la elevada capacidad de compactación y terraplenados más altos en la compactación con rodillos autopropulsados DI – un resultado impresionante confirmando con énfasis el posible potencial de ahorros por la aplicación de esta técnica moderna.

Aplicación 2: Aflojamiento de capas superiores de hormigón

Una aplicación muy especial para rodillos autopropulsados con rodillo poligonal, y en este caso específicamente el BW 226 DI-4 BVC (26 t de peso de servicio), es la rotura de capas de hormigón. Durante la pasada, los cantos del rodillo poligonal introducen fuerzas de cizallado y tracción en el hormigón causando su ruptura. El refuerzo, normalmente escaso en el hormigón de firmes, no presenta ningún obstáculo para esto.

En el curso de diferentes proyectos en autovías, se rompieron espesores de firmes de hasta unos 25 cm con unas cuantas pasadas. A continuación el hormigón triturado se puede retirar con excavadoras y transportarlo al reciclaje, o triturado se cubre con capas asfálticas. La velocidad de trabajo del rodillo autopropulsado no debería sobrepasar 1,5 km/h. Dependiendo del espesor del firme y la calidad del hormigón, las grietas se producen después de 2 a 3 pasadas.

Como queda el rodillo autopropulsado DI BW 226 DI-4 BVC en comparación con la placa machacadora, la máquina de construcción tradicional para la destrucción de firmes de hormigón, se resume en un cálculo detallado en la siguiente tabla.

También para esta aplicación resulta una impresionante ventaja en los costes para el rodillo autopropulsado DI en comparación con el método convencional.

Aplicación 3: Bonificación de subsuelos existentes

Los rodillos autopropulsados DI se aplican de forma más rentable cuando otros trabajos, normalmente muy costosos, se pueden evitar o reducir considerablemente. En primer lugar, se debe mencionar la bonificación de suelos, que consiste en solidificar un suelo de poca o ninguna resistencia por compactación, o, en caso que esto no fuese posible, sustituirlo por suelo resistente. Con ello los costes de obra aumentan sobre todo por los esfuerzos en el mo-

vimiento de tierra, pero también por el desescombro y suministro de nuevo material de suelo. Este método, muy laborioso, se emplea frecuentemente para la cubrición específica de zonas anteriormente usadas en calidad de vertederos, para preparar un terreno de cimentación p.ej. para una carretera.

Para minimizar los costes anteriormente mencionadas, consultorías y empresas constructoras deberían considerar en todo caso la aplicación de rodillos autopropulsados DI para estos tipos de obra. Por la extraordinaria acción en profundidad de estas máquinas se puede prescindir de todo o parte de estos movimientos de tierras, dependiendo de la situación de la obra. Así, los costes de obra se reducen de forma significativa. La condición básica sin embargo es la compatibilidad del suelo existente.

El informe de ensayo técnico para el movimiento de tierras del proyecto, ya mencionado en un apartado anterior: „B 95 – carretera de circunvalación Borna“ se redactó precisamente con la intención de hacer uso de la acción en profundidad de un rodillo autopropulsado DI, para reducir tanta posible sustitución del suelo previsto en el plan oficial.

En general se puede decir que es posible, en función del suelo existente, realizar una compactación posterior de subsuelos con rodillos poligonales con el propósito de aumentar la densidad o resistencia hasta unos 2,5 m. Esto es considerablemente más de lo que se puede alcanzar con rodillos autopropulsados normales.

Para mostrar el potencial de ahorro, en tabla 4 se realiza un cálculo modelo para un proyecto así. El objetivo del trabajo es aumentar la resistencia o la densidad de una plataforma de carretera planificada hasta 4 m debajo del borde superior del terreno.

El resultado dice lo suyo. Sólo por la aplicación de otro tipo de técnica de compactación es posible ahorrar hasta un 40% de los costes totales del proyecto. Los costes menores resultan por una parte de un volumen de suelo considerablemente más reducido a mover en la obra (pos. 1 y pos. 3), y por otra parte de los reducidos costes de la técnica de maquinaria (pos. 2 y pos. 3). Por la capacidad de compactación mucho más elevada del rodillo autopropulsado DI, para esta obra además se pudo ahorrar una máquina.

Resumen

Con la presente publicación se comprueba que los rodillos autopropulsados DI por la combinación de la excelente acción en profundidad y la tecnología VARIOCONTROL figuran entre los equipos de compactación más rentables para el servicio pesado en el movimiento de tierras. La enorme acción en profundidad consiste en el continuo cambio del sentido de la energía introducida por las cuñas y placas del rodillo. De esta forma se evita la formación de tapa en la superficie de la capa a compactar y facilita la introducción de la energía de compactación a zonas más profundas.

Con el ejemplo de tres diferentes aplicaciones de rodillos autopropulsados DI se muestra claramente que el ahorro de costes puede ser considerable. En

la primera aplicación se determinan los menores costes de la obra por incremento del espesor de capa a compactar. Con el aprovechamiento de la capacidad total de la máquina, los costes totales se pueden reducir hasta el 30%.

Su versatilidad la demuestra el BW 226 DI-4 BVC durante el aflojamiento o la destrucción de superficies de hormigón. Aplicaciones en diferentes obras demuestran que esto se pueden realizar con éxito en firmes de un espesor de hasta 25 cm. En este caso los costes se pueden reducir hasta el 25% en comparación con equipos convencionales para la destrucción de hormigón como p.ej. la placa machacadora.

La aplicación de estas máquinas es aún más rentable si otras prestaciones se pueden reducir o omitir, como p.ej. en la bonificación de subsuelos existentes. La enorme acción en profundidad del rodillo poligonal en este caso permite reducir considerablemente los movimientos de tierras o de prescindir de ellos. Con vista a los gastos de un proyecto así, existe la posibilidad de reducir los costes totales de construcción hasta un 40 %.

Dirk Janitzki
 (Jefe de Producto Rodillos
 Autopropulsados)

Extendido de aglomerado con la más moderna técnica de compactación – ASPHALT MANAGER

Forzado por unas inversiones del estado para la construcción de carreteras cada vez menores, el contratista debe controlar ahora más que nunca los costes y comprobar, por ejemplo, la eficiencia de su maquinaria de construcción. Después de todo, también es de considerable influencia sobre la rentabilidad de cualquier medida que se tome.



Fig.1 BW 174 AD-2 con ASPHALT MANAGER

Este artículo debe ser un ejemplo de ahorro de costes en el extendido del aglomerado haciendo uso de la última técnica de compactación.

Se han comparado en un mismo proyecto dos rodillos vibratorios tándem de la misma clase de peso dotados, uno de ellos con tecnología de vibración convencional, y el otro provisto del sistema de optimización automática de la capacidad de compactación (ASPHALT MANAGER). A continuación se describe el ASPHALT MANAGER (AM) y se explican los detalles de varias importantes ventajas. Después viene el cálculo del potencial de ahorro con una simple tabla modelo.

BOMAG presentó ya en 1996 el sistema VARIOMATIC. Con este sistema fue posible adaptar la capacidad de compactación automáticamente a las necesidades, y no como habitualmente mediante la preselección manual del operador del rodillo. En el año 2000, la técnica de

regulación automática se ha refinado más gracias a otra piedra angular en su desarrollo, el ASPHALT MANAGER. Con esto ya es posible obtener durante la colocación un valor de referencia físico (MN/m^2) para el control del incremento de la compactación.

Descripción técnica:

Los compactadores BOMAG con tecnología de compactación automática tienen la capacidad de variar el sentido efectivo de la energía de compactación del excitador entre vertical (máxima acción en profundidad) y horizontal (compactación cuidadosa). La amplitud nominal de la compactación se mantiene constante, dado que se trata de un vibrador dirigido. Una condición importante para esto es un procesador rápido en el circuito de regulación. Dos captadores de aceleración miden las vibraciones del lado izquierdo y derecho del rodillo delantero. Con el aumento de la compactación aumenta la resistencia del material y por tanto la aceleración medida en el rodillo. El sistema automático, en este caso, regula la energía de compactación hacia la horizontal. El operador del compactador está continuamente informado sobre estos cambios, dado que su unidad de mando e indicación – el Panel de Operaciones BOMAG – está en una posición óptima para su campo visual.

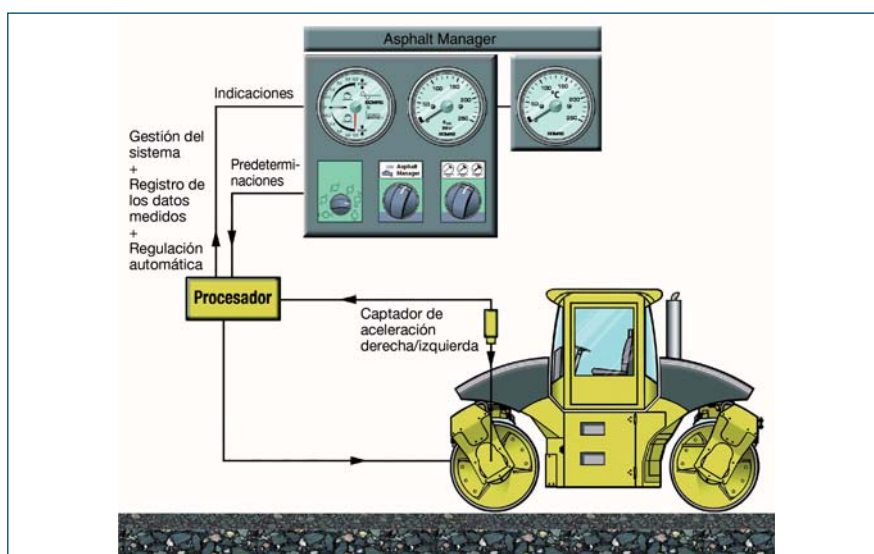


Fig. 2: Rodillo ASPHALT MANAGER con técnica de regulación y medición

El procesador del Asphalt Manager calcula el valor E_{VIB} – que significa módulo de elasticidad dinámico – mediante la evaluación de los valores de aceleración con medición continua.

Por su experiencia, o mejor dicho por calibración del material mixto de asfalto, el operador del compactador conoce el valor orientativo de E_{VIB} . Cuando este valor se alcanza no se necesitan más pasadas de seguridad.

El sistema excitador con vibrador dirigido funciona con masas excéntricas de rotación opuestas, los que maximiza la energía de compactación en un sentido definido. Este sentido de determina por el giro continuo de todo el excitador en un campo entre 0° y $\pm 90^\circ$. Esto quiere decir que con el sistema de vibrador dirigido se puede aprovechar siempre la máxima amplitud. La regulación inteligente permite la variación automática de la componente vertical predominante de la energía de compactación resultante (ver Fig. 3). Con una regulación del excitador de 0° – posición horizontal del excitador – principalmente se introducen fuerzas transversales al suelo con el efecto de una compactación „muy suave“. El operador del compactador tiene la posibilidad adicional de fijar manualmente con la unidad de control 6 posiciones del excitador o sea etapas de energía.

El sistema excitador del ASPHALT MANAGER (naturalmente también en rodillos partidos) es un desarrollo especialmente innovador en la técnica de la compactación, dado que se puede influir tanto sobre la capacidad como sobre la calidad de la compactación. Los sistemas de vibración u oscilación existentes hasta hoy no podían adaptarse de forma automática y continua a necesidades reales. La densidad alcanzable y el contenido de vacíos no son los únicos factores decisivos en la compactación de asfalto. Características adicionales en cuanto a calidad como a planeidad y rugosidad deben cumplirse de forma óptima. Con el ASPHALT MANAGER también el material sensible al empuje se trabaja con menos problemas, dado que en función del sentido de marcha también se adapta de forma automática el sentido de la energía de compactación. Esto reduce el riesgo de „creación de olas“ delante del rodillo

porque el material mixto es empujado debajo del rodillo durante la vibración.

A continuación se muestra como el contratista puede utilizar las posibilidades del nuevo sistema de forma rentable en la construcción de carreteras.

1. Ventaja: Mayores reservas con elevados espesores de capas

En el asfaltado raramente existe la posibilidad de variar los espesores de capas exigidas en los concursos y eventualmente colocar capas más gruesas. El potencial de compactación existe con el ASPHALT MANAGER; si fuese necesario, únicamente la técnica de colocación debe variar en función del material.

Básicamente es válido lo siguiente : En comparación con compactadores con vibración convencionales se utiliza una amplitud hasta 30 % más grande. Por lo tanto, si las capas de base se colocan en una capa en vez de en dos capas, realmente existe una ventaja del vibrador dirigido anteriormente descrito. Por la concentración de la energía de compactación en sentido vertical al comienzo de la compactación se logra un mejor efecto de profundidad en comparación con la vibración convencional; y por ello existe una mayor seguridad de alcanzar los valores de densidad exigidos.

¿Que significa esto para el operador del compactador?

Para el muy positivo ya que alcanza el valor de orientación E_{VIB} determinado después de la calibración, evitando así pasadas innecesarias. Estas requieren

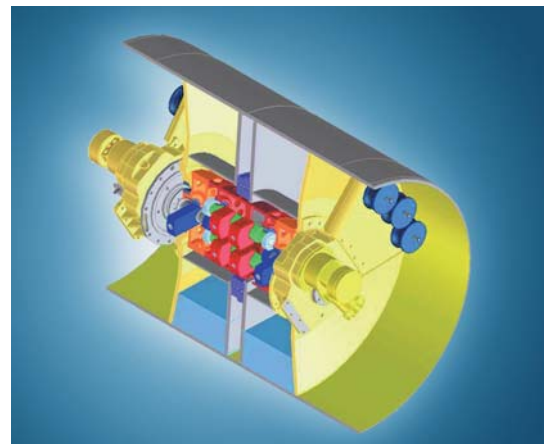


Fig. 3: Sistema excitador con vibrador dirigido

tiempo que como se sabe, no se puede compensar especialmente en la temporada más frías.

Sin tomar en consideración el espesor de capa, es importante contemplar los gastos totales de un compactador. A continuación por lo tanto se realiza el cálculo de los costes de operación y mantenimiento junto con los costes del trabajo de compactación. Como ejemplo se describe una determinada obra (saneamiento del aeropuerto de Münster / Osnabrück) y se compara el cálculo de costes de ambos sistemas de compactación. Se trata de un compactador BW 174 AD-2 con ASPHALT MANAGER y el mismo compactador convencional con técnica de vibración. La categoría de peso es de unas 10 t.

Descripción del proyecto: Aeropuerto de Münster/Osnabrück

Se trata de una renovación de la superficie de la pista de despegue de aprox



Fig. 4: Renovación de la capa de cobertura, aeropuerto Münster/Osnabrück

Cálculo de los costes totales por hora de servicio

	BW 174 AD-2 AM	BW 174 AD-2
Valor nuevo *)	120.000	95.000
Valor residual 40%	48.000	38.000
Valor depreciado	72.000	57.000
Transporte	1.500	1.500
Vida útil (horas/año)	1.000	1.000
Vida útil (horas/mes)	80	80
Valor total a depreciar	73.500	58.500
Valor total para rédito	121.500	96.500
Tipo de interés	0,065	0,065
Depreciación A/mes	1.671	1.414
Depreciación A/hora	14,63	12,38
Valor rédito V/mes	358	303
Tasa reparación en %/mes	0,23	0,21
Tasa reparación en €/hora	2,57	2,05
Tasa reparación R en €/mes	214	171
Suma A + V + R	2.244	1.888
Suma A + V + R por hora	28,05	23,60
(Experiencia: Vida útil (horas / mes)		
Consumo medio diesel l/hora	12	11
Costes gasoil €/hora	13	12
7,5 % recargo al diesel para lubricantes en €/hora	0,95	0,87
Costes combustibles en €/hora	14	13
Costes totales/hora	41,72	36,13
(sin salarios y recargos)		

*) El valor de nuevo es diferente según el volumen de suministro o las normas específicas de un país.

Tabla 1

Cálculo de costes para obra de asfalto con una capa de cubrición de 4 cm
(Combinación de los equipos óptimamente coordinada, sin salarios ni recargos)

		BW 174 AD-2 AM	BW 174 AD-2
Rendimiento superficial: QA	(m ² /h)	750	563
Rendimiento cuantitativo: Qx	(t/h)	72	54
Coefficiente de reducción		0,75	0,75
Recubrimiento (ū)	(m)	0,18	0,18
Ancho de trabajo: (b)	(m)	1,68	1,68
Velocidad de trabajo	(km/h)	4	4
Velocidad de trabajo	(m/min)	67	67
Espesor de capa: (h)	(m)	0,04	0,04
Número de pasadas	(n)	6	8
Densidad del asfalto	(t/m ³)	2,4	2,4
Cálculo de rendimiento: L1		L1 = 60 (b-ū) v h / n	
Rendimiento	m ² /h	750	563
Rendimiento	t/h	72	54
Proyecto: Colocación una capa de cubrición:	t	7.000	7.000
	h	97	130
Tiempo para el proyecto	h	20	20
Costes totales/hora	€/h	41,72	36,13
sin salarios ni recargos			
Costes totales/hora	€	4.057	4.684
sin salarios ni recargos			
Compactadores necesarios para compactación principal		5	6

Tabla 2

2,2 km de longitud y 30 m de ancho. En total se tenían que fresar 70.000 m² de capa asfáltica y volver a colocarla. La mezcla era hormigón asfáltico 0/11 S con PmB65. La densidad Marshall

exigida era 97 %. Esta obra se realizó dentro de un tiempo muy corto, sólo 20 horas, y esto con condiciones meteorológicas bastante frescas.

Durante esta obra a finales del año pasado, se echaron 7.000 t de capa de cubrición asfáltica; se utilizaron 4 extendedoras y 8 compactadores BOMAG (4 de ellos con ASPHALT MANAGER).

El espesor de capa estaba especificado en 4 cm – sin embargo el número de las pasadas no. Menor número de pasadas afectan directamente a los costes de obra, especialmente en caso de proyectos grandes.

Esto también se tiene en cuenta en este ejemplo de cálculo. Se determinan los costes del capital invertido para un rodillo tándem, de la amortización, del rédito y del mantenimiento.

Finalmente viene el cálculo de los costes totales referidos a la obra específica.

Explicaciones [tabla 1](#): Los costes calculados difieren según modo y tiempo de la depreciación y el tipo de interés elegido. Para el cálculo de los costes de reparación y materiales de operación no se ha utilizado el porcentaje recomendado en la lista de equipos de construcción (BGL), sino los valores BOMAG obtenidos a base de muchos años de evaluaciones estadísticas.

Explicaciones [tabla 2](#): Los compactadores con ASPHALT MANAGER necesitan unas 2 pasadas menos en comparación con la misma categoría de compactadores con vibración convencional. Esto no sólo se debe a la mayor eficiencia de la compactación sino también a la información puesta a disposición del operador del compactador. En este caso se alcanzó un valor E_{VIB} de 200 MN/m² de cómo magnitud orientativa; de esta forma se evitaron pasadas innecesarias. Gracias a la indicación continua de la temperatura superficial del asfalto, los compactadores con AM trabajaban siempre en la zona caliente, es decir, 20 a 30 m detrás de la acabadora. Esto también aumenta la eficiencia de estos compactadores. Un indicador de la temperatura a base de infrarrojos está incluido en el suministro estándar del ASPHALT MANAGER.

El resultado muestra un ahorro en los costes de compactación de aprox. el 16% a pesar de los mayores costes de inversión del compactador con ASPHALT MANAGER. Los compactadores con-

vencionales prácticamente necesitan 2 pasadas adicionales, lo que supone al fin y al cabo, que se necesita otro compactador más. Esto implica costes adicionales de 20 x 36,13 Euros / hora.

Ventaja 2: Resistencia homogénea mediante control de la compactación de toda la superficie, p.ej. para contratos de obra y mantenimiento

Para construir carreteras duraderas es necesario dimensionar la estructura de las capas de forma sólida desde el principio con la vista puesta en la carga de tráfico esperada. Aún así quedan unos riesgos de ejecución que se deben añadir a los cálculos con un cierto margen para riesgos. En los grandes proyectos, el contratista tiene la necesidad de realizar un control de compactación de toda la superficie para cubrir los requerimientos en cuanto a garantía a largo plazo (llamado contratos de construcción funcional). Sólo de esta forma es posible reconocer a tiempo p.ej. una variación de la calidad en el material y eliminarla, comenzando por los cimientos de la carretera hasta llegar a la coronación. La solución para esto también se llama ASPHALT MANAGER, porque el sistema se puede completar con el BCM 05 (BOMAG Compaction Management), BOMAG Positioning y un enlace GPS.

En este caso concreto se renovó una distancia de 5,0 km de la autovía A 30 en la cercanía de Münster. La primera vez que un proyecto iniciado por la BAST en el que las tareas de compactación se controlaron en toda la superficie y se documentaron con el BCM05.

Resultado: El riesgo de una garantía a largo plazo vuelve a ser calculable con el control de compactación de toda la superficie. La causa de los deterioros, p.ej. en la capa superior de una superficie reservada al tráfico, se debe muchas veces a la irregular resistencia del subsuelo o de las capas intermedias en combinación con altas cargas de vehículos. Las consecuencias son deformaciones de la calzada.



Fig. 5: BW 174 AD-2 AM con control de compactación de toda la superficie, autovía A 30, cerca de Münster

La eliminación de estos defectos de construcción es muy costosa y pone la rentabilidad de una obra en duda, dado que normalmente incluye la renovación de la capa superior ligada. El ASPHALT MANAGER puede ayudar al contratista a evitar dichos defectos de construcción.

Gracias a la regulación automática de la energía de compactación, se dispone siempre de la máxima compactación posible en función de la resistencia del material.

El operador del compactador evitará pasadas no necesarias porque conoce el valor específico orientativo del Evib para los trabajos de compactación. Por otro lado, el operador continuará con la compactación hasta alcanzar el correspondiente Evib. Esto lleva de forma continua a la aproximación del valor real al valor teórico, y de esta forma a una resistencia uniforme de toda la superficie reservada al tráfico. De esta forma se evita de forma fiable también la compactación excesiva del material mixto (destrucción del grano o nuevo

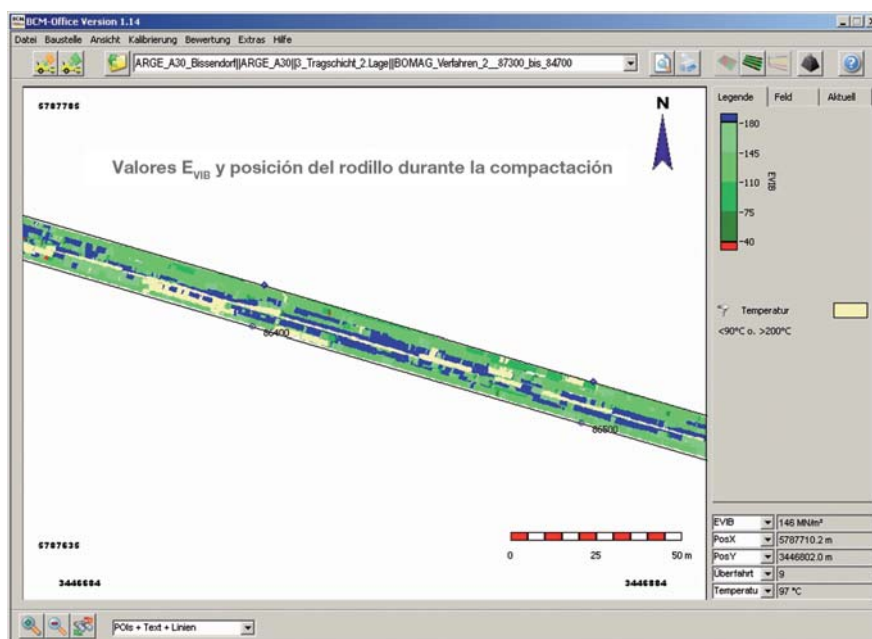
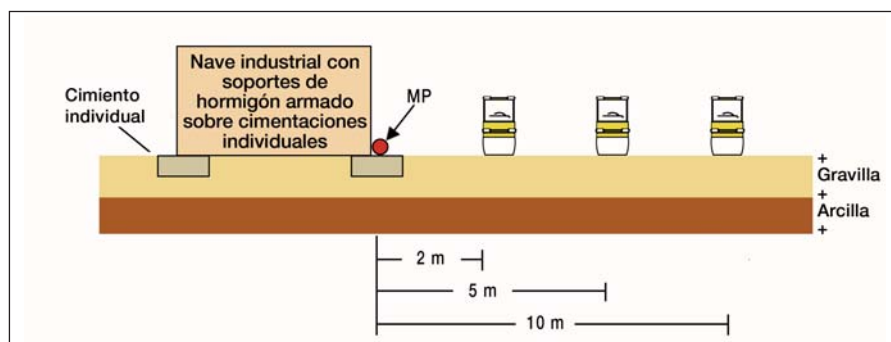


Fig. 6: Presentación de los valores E_{vib} y de la posición del rodillo durante la compactación



El ASPHALT MANAGER ofrece la posibilidad de ajustar de forma manual seis fases de la energía de compactación o amplitud introducida por el compactador en la carretera. Esto facilita optimizar el rendimiento de compactación en estas obras. Con la limitación de la amplitud vertical se pueden evitar valores límites relevantes a la vibración para personas y edificios. La siguiente Figura indica las velocidades reales de vibración que se midieron a diferentes distancias y posiciones del excitador en un cimiento individual durante el trabajo de un compactador tándem de 9 t con ASPHALT MANAGER.

		Velocidad de la vibración		
		Distancia del rodillo hacia el punto de medición [MP]		
BW 151 AD-2 VARIOMATIC	0° (horizontal)	2 m	5 m	10 m
	18°	0,79 mm/s	0,76 mm/s	0,48 mm/s
	36°	1,07 mm/s	1,15 mm/s	0,59 mm/s
	54°	1,59 mm/s	1,68 mm/s	0,72 mm/s
	72°	1,98 mm/s	2,01 mm/s	0,96 mm/s
	90°	2,07 mm/s	2,14 mm/s	1,04 mm/s
BW 154 AD-2 Compactador vibrante convencional con vibrador circular	Amplitud grande	1,67 mm/s	1,71 mm/s	0,98 mm/s
	Amplitud pequeña	1,31 mm/s	0,97 mm/s	0,43 mm/s

Valor de referencia para la velocidad de vibración en fundamentos según DIN 4150-3: 3 mm/s

Fig. 7: Velocidades de vibración de un compactador de 9 t con ASPHALT MANAGER

Para situaciones constructivas difíciles en una periferia sensitiva, p.ej. en la cercanía de edificios y sobre puentes, el operador del compactador con ASPHALT MANAGER simplemente tiene más posibilidades de adaptación en comparación con máquinas estándar. Las mediciones indican que los efectos de la vibración sobre los edificios se pueden reducir considerablemente por la posibilidad de la preselección de vibración. El compactador, a pesar de esto, puede compactar de forma dinámica y, por lo tanto, trabajar con más eficiencia.

Ventaja 4: Mejor planeidad y rugosidad

Ya en el año 1999, la CETE/CER realizó extensos estudios sobre esto en Francia. Para ello se realizaron estudios con un compactador tándem de 8 t con vibrador dirigido y regulación automática de la compactación (VARIOMATIC), en comparación con compactadores convencionales con vibración y compactadores con ruedas de goma.

El proyecto consistía en una capa de unión en la circunvalación RN 13 de Lisieux, Normandía, Francia. El compuesto de asfalto: 100 % granito triturado, arena de cuarcita, armazón de agregado mineral y un bitumen 35/50. Se fijó especialmente la atención en la compactación uniforme y en la rugosidad de la superficie de la capa asfáltica compactada. La densidad fue medida puntual y continuamente con sonda



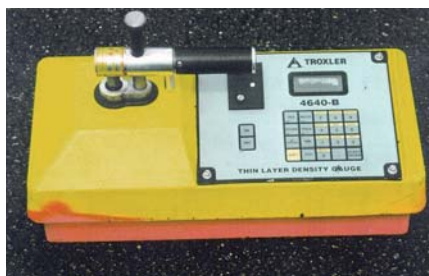
Fig. 8: Prueba práctica en Francia con VARIOMATIC

aflojamiento). Los asentamientos que pueden causar deterioros en la estructura superior se pueden evitar con persistencia.

Ventaja 3: Limitación de vibraciones perjudiciales

Durante las obras en zonas urbanas se producen frecuentemente deterioros en los edificios próximos, o los vecinos se molestan por las vibraciones. En caso de compactadores estándar, el operador sólo tiene la posibilidad de trabajar con la amplitud pequeña, si la máquina

dispone de un sistema de vibración de 2 amplitudes, o en caso extremo, de compactar de forma estática. Ambos métodos provocan una considerable reducción del rendimiento de compactación del equipo de compactación. En cualquier caso es el contratista el que asume el riesgo. En caso de duda debe encargar a un experto determinar los efectos reales de la vibración sobre el edificio – y esto puede ser costoso. Muchos conflictos terminan en el juzgado. El ASPHALT MANAGER también puede ser de mucha ayuda al presentarse un problema así.



Medición puntual de la compactación con sonda isotópica



Medición continua de la compactación con sonda isotópica móvil [1 medición / 10 m]



Fig. 9: Medición de densidad y rugosidad en capa ligante de asfalto

isotópica, la rugosidad puntual con el método volumétrico.

Los resultados mostraban con parecida intensidad de la compactación de ambas técnicas de compactación, una mayor homogeneidad de la compactación (menor desviación típica) y una más pronunciada rugosidad (valores característicos de rugosidad del 30% más altos) de la capa asfáltica utilizando compactadores VARIOMATIC o ASPHALT MANAGER.

Resumen

El presente informe y las ventajas explicadas en detalle muestran que los costes de la obra y los riesgos de ejecución se pueden reducir considerablemente mediante la aplicación de técnica moderna de compactación, como p.ej. compactadores tándem con ASPHALT MANAGER.

Con un cálculo modelo se muestra una idea clara de que los costes del equipo de construcción se pueden reducir hasta el 16% con una mayor eficiencia de

la compactación con el ASPHALT MANAGER y mediante el aprovechamiento de la última tecnología de medición.

Los riesgos de ejecución también se pueden reducir considerablemente mediante la aplicación del ASPHALT MANAGER. Para esto sirve la optimización automática de la compactación, donde de forma continua se precisa la misma capacidad portante de la mezcla asfáltica, y donde se eliminan los riesgos por daños debido a diferentes asentamientos.

Características cualitativas:

Aquí corresponde la posibilidad de dosificar la energía de compactación que se introduce en la carretera. Esto es especialmente importante en zonas sensibles – cerca de edificios o sobre puentes. El ASPHALT MANAGER reduce el riesgo de daños a viviendas con el mayor rendimiento de compactación dinámico posible.

Características cualitativas muy importantes son, indudablemente, la planeid-

ad y el agarre de una capa de rodadura de asfalto. Sobre este tema se realizaron en 1999 unos ensayos muy positivos por parte del Instituto Nacional de Rouen/Francia con motivo de la aplicación del eje excitador dirigido del ASPHALT MANAGER. Hoy en día estas características se han convertido en tan importantes como la propia compactación.

Como punto final puede decirse que, mediante la aplicación de la más moderna tecnología de medición y compactación, como el ASPHALT MANAGER, la rentabilidad de una obra puede incrementarse considerablemente. Para el contratista esto significa que ya durante la fase de adjudicación tendrá una ventaja competitiva muy importante.

Winfried Schramm
 Jefe de Producto Rodillos Tándem y Combinados

Triturar y compactar rocas con rodillos autopropulsados

El foco de la cuarta parte de esta serie es la trituración y compactación de rocas en el movimiento de tierras.



Figura 1: Rodillo autopropulsado BOMAG de 26 t con rodillo triturador de rocas en servicio



Figura 2: Herramientas trituradoras del rodillo RC

La colocación de rocas tiene que realizarse frecuentemente dentro de proyectos mayores que buscan un equilibrio entre los perfiles de desmonte y terraplén.

La parte rocosa del suelo a procesar hasta ahora se trituraba en instalaciones de machaqueo. Los esfuerzos técnicos y financieros son, sin embargo, considerables para esta tecnología. Los autopropulsados con rodillos trituradores de rocas (en adelante llamados rodillos autopropulsados RC) presentan una interesante alternativa para estos proyectos cuando se trata de la compactación de roca de dureza blanda a media. Para

acentuar esta confirmación, en la presente publicación se describen las condiciones para la aplicación de uno de estos equipos, y con cálculos modelo se comprueba que se pueden ahorrar entre el 30% y 35% de los costes para el movimiento de tierras con rodillos autopropulsados RC en comparación con los métodos convencionales.

Estructura de los autopropulsados con rodillo triturador de rocas

Para triturar y compactar rocas se requieren rodillos autopropulsados con muy elevadas energías de compacta-

ción. El rodillo triturador de rocas, por lo tanto, sólo tiene sentido en combinación con rodillos autopropulsados muy pesados, que además dispongan de un sistema de vibración de extrema potencia. Con estas condiciones resulta que BOMAG ofrece este rodillo especial exclusivamente con el rodillo autopropulsado BW 226 RC-4 BVC de 26 t en combinación con la tecnología VARIOCONTROL (BVC) (explicación más detallada del BVC: véase publicación técnica: Compactación de suelos a medio gas, S&T edición 10/04). Por lo tanto, un potente equipo de compactación está a disposición para la trituración y compactación de roca, con un peso so-



Figura 3: Rodillo autopropulsado RC durante la trituración primaria en el lugar de explotación



Figura 4: Rodillo autopropulsado RC durante la trituración final y compactación en el lugar de colocación

bre el rodillo de 18 t, y una amplitud de 2,25 m y fuerzas centrífugas de 53 t (Figura 1).

El mismo rodillo RC consiste en un tubo envolvente con dientes triangulares de 200 mm de altura soldados, cuyas puntas están provistas de una protección contra el desgaste. Además, en el sentido de giro del rodillo se encuentran cuchillas soldadas entre los dientes triangulares. Ambos elementos introducen fuerzas de cizallado y tracción en la roca a triturar lo que causa su hendidura (Figura 2). Para minimizar el desgaste de las herramientas trituradoras del rodillo, sometidas a esfuerzos máximos, la protección contra el desgaste de los dientes y cuchillas está hecha de un acero altamente resistente al desgaste.

Campo de aplicación

Un rodillo autopropulsado RC es más efectivo cuando hay que colocar y compactar capas alternativas de piedra suelta y consolidada. Sin embargo, también tierras que consistan sólo en material consolidado se pueden procesar con un equipo de este tipo. De acuerdo con la DIN 18300, estos materiales de tierra se clasifican en rocas de fácil a difícil solubilidad y tipos de terreno comparables (suelo de clase 6 y clase 7).

Las experiencias hasta ahora han demostrado que es posible triturar material rocoso blando a semiduro (rocas fisuras o fáciles de romper como p.ej. piedra caliza y arenisca, tobas y arcilla esquistosa) con los rodillos autopropulsados RC. Para poder estimar si la aplicación de dicho equipo en la obra es posible, un método simple y rápido es la prueba de golpe de martillo. Se puede aplicar la siguiente regla: **La aplicación de un rodillo autopropulsado se debe considerar cuando las rocas se pueden romper con un martillo de 2,5 Kg**

Criterios de aplicación

Los rodillos autopropulsados RC sustituyen muchas veces en la obra a las instalaciones de trituración, y son utilizados sobre todo para romper rocas o rocas y bloques en bloques sueltos. Para asegurar una óptima destrucción, el



Figura 5: Rodillo autopropulsado RC rompiendo rocas

material de suelo se debe colocar en los espesores correspondientes. El método de trabajo más eficiente en la obra es la colocación del material con una oruga a través de un terraplén de descarga con capas inclinadas. Después las rocas son trituradas y precompactadas con el rodillo autopropulsado RC en sentido contrario al sentido de distribución de la oruga. Para alcanzar la compactación demandada en los documentos de contratación, se utilizan además rodillos autopropulsados convencionales de un peso de 19 t a 26 t con rodillo liso. Una sólida base es importante para el proceso de trituración con un rodillo autopropulsado RC. Con una base blanda y con insuficiente resistencia, las piedras y los bloques simplemente se hunden en la base por lo que resulta imposible romper el material.

Si se trata de la trituración de rocas con sola una parte menor de piedra sueltas, también existe la posibilidad de realizar una trituración primaria del material in situ con un rodillo autopropulsado RC, después transportarlo y realizar la trituración final con un segundo rodillo autopropulsado RC en el lugar de colocación. Este método se utilizó en la obra

de la autovía A38 cerca de Göttingen (Figura 3 y Figura 4).

La posición geométrica de los dientes triangulares y cuchillas en el rodillo facilita realizar con rodillos autopropulsados RC mezclas de granos con un grano de un máximo tamaño de 20 cm.

Potencial de ahorro con rodillos autopropulsados RC

Mediante la aplicación de los rodillos autopropulsados RC se obtienen considerables ventajas financieras, tanto para el contratista como para el cliente. Por una parte, de los procesos simplificados de transporte y extracción de los materiales en el lugar de obra, ya que del lugar de extracción se transportan en directo al lugar de colocación, y por lo tanto en el cálculo se pueden reducir considerablemente los tiempos adicionales para descargar, cargar y maniobrar los vehículos de transporte. Por otra parte – y es aquí dónde se puede ahorrar el máximo – se puede prescindir de una instalación de trituración y de las cargadoras para alimentarla y cargar los vehículos de transporte.

**Calculo de costes para un proyecto ficticio en movimiento de tierras:
Colocación y compactación de suelos del tipo 6 y 7 de acuerdo con DIN 18300
(Combinación de los equipos óptimamente adaptada)**

Cometido: Extracción de suelo de clase 6 y 7 en obra de túnel (resistencia a la compresión hasta 100 MN/m²), cargar, transportar del lugar de extracción al lugar de colocación; colocar y compactar, el material se debe triturar con tecnología apropiada, longitud de cantos de la fracción de rocas en el material hasta 40-60 cm, colocación de las masas de tierra a realizar con espesores de las capas de 50 cm (compactadas), máximo tamaño de grano no debe superar 2/3 del espesor de la capa

Versión 1: Trituración de las masas de tierra con trituradora de mandíbulas móvil				Versión 2: Trituración de la fracción de roca en las masas de tierra con rodillo autopropulsado RC			
Pos.	Descripción del trabajo:	PU en Euro	PT en Euro	Pos.	Descripción del trabajo:	PU en Euro	PT en Euro
1.1	Extraer suelo de clase 6/7, cargar y transportarlo hasta 500 m y volcarlo en la zona de la trituradora m³ 250.000	2,09	522.500	1.1	Extraer suelo de clase 6/7, cargar y transportarlo hasta 3 Km al lugar de colocación y volcarlo m³ 250.000	4,49	1.122.500
1.2	Transportar suelo de clase 6/7 a la trituradora, quebrantarlo y depositarlo hasta su reexpedición m³ 250.000	1,41	352.000	1.2	Distribuir suelo de clase 6/7, triturar y compactarlos hasta alcanzar el grado de compactación demandado m³ 250.000	1,37	342.500
1.3	Cargar suelo de clase 6/7 triturado depositado, transporte hasta 2,5 Km y volcarlo en el lugar de colocación m³ 250.000	4,18	1.045.000				
1.4	Distribución del suelo triturado de clase 6/7 y compactación hasta alcanzar el grado de compactación según ZTVE-STB m³ 250.000	0,94	235.000				
Precio de oferta Euro		8,62	2.155.000	Precio de oferta Euro		5,86	1.465.000
El resultado: Ahorro de los costes totales con utilización de rodillos autopropulsados RC 32%							

Tabla: Cálculo de costes para un proyecto de movimiento de tierras

En la siguiente tabla, con comparación de costes, se presenta el potencial de ahorro por la utilización de un rodillo autopropulsado RC en comparación con una instalación trituradora móvil. En el cálculo modelo se toman en consideración todos los procesos de obra afectados por la selección de los equipos.

A pesar de que en la versión 1 se contaba sólo con un rodillo autopropulsado con rodillo liso y en la versión 2 con dos rodillos autopropulsados (uno con rodillo liso y uno con rodillo triturador de rocas), los ahorros con la versión 2 son enormes por poder prescindir de la trituradora y de los equipos de transporte: De los costes de obra se pueden ahorrar aprox. un 30 a 35% sólo por la aplicación de un rodillo autopropulsado RC y el cambio en la secuencia de la obra.

Proyecto de obra ejecutado

A la empresa Rädlinger le fue adjudicada completar la sección de la autovía BAB A63 entre Sembach y Kaiserslautern/Este. La obra tenía una longitud total de 6,4 Km. Implicaba el movimiento de unos 1,5 mio. m³ de tierras, consistiendo aprox. 2/3 del volumen total de arenisca abigarrada con una resistencia a la compresión de 20-35 MN/m² que se tenía que colocar en la obra frecuentemente en bloques con una longitud de cantos de hasta 1,5 m. Antes de la realización del proyecto se investigaron 3 alternativas para la trituración de las rocas existentes: Tratamiento con martillo hidráulico, trituración con instalación trituradora o romperlas con un rodillo autopropulsado RC. Debido a las buenas experiencias anteriores en el trazado nuevo del tren ICE Colonia Rin-Meno, la empresa Rädlinger se decidió para la aplicación de un rodillo autopropulsado con rodillo triturador de rocas.

El modo de trabajo se presentó como se describe a continuación: Una oruga distribuía el material en el frente con espesores del terraplenado de 50-60 cm en forma de una rampa, y a continuación un rodillo autopropulsado RC BW 226 los trituraba y precompactaba con 2 pasadas. La compactación demandada en el proyecto se alcanzaba con hasta 7 pasadas más 1 con un rodillo autopropulsado normal con rodillo liso.

Con la tecnología elegida se alcanzaban prestaciones de colocación de hasta 1.500 m³ diarios. El rendimiento de compactación no estuvo determinado por el rodillo autopropulsado sino por la dificultad en desprender el material en el lugar de extracción.

Resumen

Los rodillos autopropulsados con rodillo triturador de rocas presentan una interesante y rentable alternativa en comparación con métodos convencionales para la trituración de rocas en el movimiento de tierras. Con un cálculo modelo se demuestra la posibilidad de un potencial de ahorro en los costes totales de obra de aprox. 30 a 35% en comparación con instalaciones trituradoras móviles.

Estos costes menores resultan básicamente del ahorro en sistemas de transporte para mover tierras a la machacadora y de la instalación de la machacadora misma.

Costes menores resultan además por la simplificación de los procesos de extracción y transporte entre el lugar de extracción y el lugar de colocación.

Dirk Janitzki
(Jefe de Producto Rodillos
Autopropulsados)

Conservación económica y efectiva de carreteras con el método BOMAG Mix-in-place

En tiempos de menores aportaciones de medios económicos, tampoco la construcción de carreteras escapa a los cambios. Muchas carreteras ya han alcanzado prematuramente el final de su duración proyectada.

El creciente tráfico, mayores cargas sobre ejes y medidas de conservación de las carreteras desatendidas, aportan enormemente al empeoramiento de la condición de las carreteras. Por lo tanto, los esfuerzos necesarios para el mantenimiento de la red de carreteras existente aumentan cada día.

El cambio del entorno económico ha llevado a dar cada día mayor importancia a los métodos de construcción orientados a futuro y con costes reducidos. La demanda de alternativas económicas y efectivas para reemplazar tierras o extraer firmes viejos aumenta.

Una de estas alternativas es el método Mix-in-place de BOMAG que se utiliza desde hace tres décadas en diferentes países del mundo. Con el ahorro en transporte, nuevos materiales de construcción y costoso espacio de vertederos, con este método se mejoran materiales de suelo existentes o se reciclan caminos con necesidad de reparación o firmes de carreteras, para la construcción de nuevas carreteras.

Método Mix-in-place de BOMAG

El método Mix-in-place de BOMAG se utiliza en todo el mundo para la producción de capas de base estabilizadas con el sistema mixto en la nueva

construcción de firmes de carreteras y de las que precisan saneamiento.

Consolidación de suelos:

En el marco de proyectos de nueva construcción, muchas veces es necesario mejorar el material existente. En la llamada consolidación de suelo las características mecánicas del suelo se mejoran por mezclar el suelo in situ con los ligantes correspondientes.

En las aplicaciones de consolidación de suelos se distingue entre mejora y consolidación de suelos.

Mejoras de suelos son métodos que facilitan y mejoran la capacidad de co-



Fig. 1: Reciclaje de carretera en Yantai, China

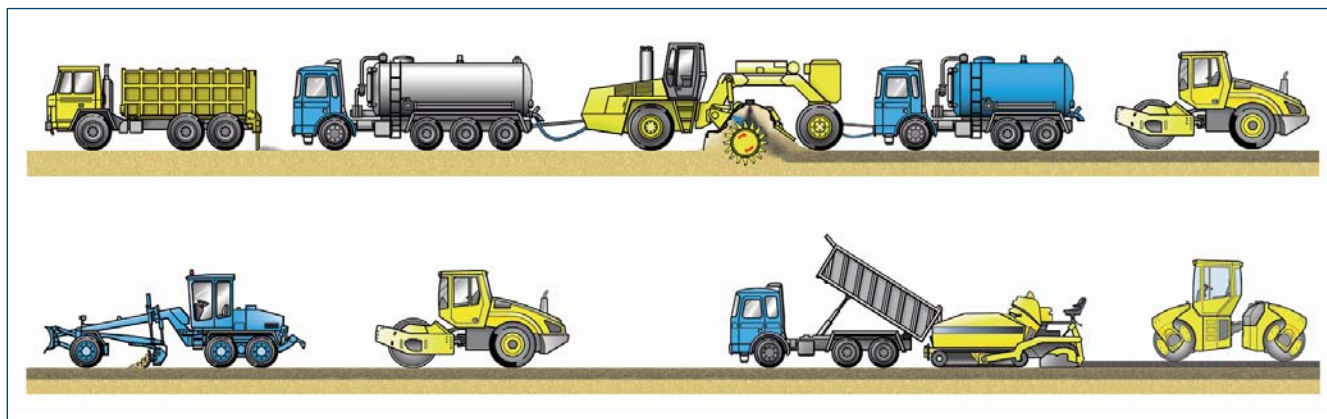


Fig. 2: Método de Mix-in-place

locación y compactación del material existente. Esto es necesario p.ej. cuando el contenido de agua de suelos muy húmedos se debe reducir a una medida normal para la ejecución económica del movimiento de tierras. Para esto normalmente se utilizan cales en calidad de ligantes. Mejoras de suelos encuentran aplicación en todo tipo de movimientos de tierras.

Consolidaciones de suelos son métodos que aumentan la resistencia del suelo contra carga por tráfico y condiciones climáticas por la adición de ligantes hidráulicos y agua. Con este método las capas resultan de mayor resistencia y protegida contra heladas. El cemento se debe considerar el más importante ligante para la consolidación de suelos. Consolidaciones de suelos se realizan en la zona superior del subsuelo o de la base de carreteras y caminos de todo tipo, como también en superficies reservadas al tráfico y en plataformas.

Reciclaje Mix-in-place:

Durante el reciclaje con el método de Mix-in-place se reutiliza el firme existente para construcción de la nueva carretera. Para ello primero se fresa toda la capa base. El material desmenuzado de esta forma se mezcla "In-place" (in situ) con ligantes y se vuelve a utilizar como nueva capa de base aglomerada. Como ligante se utiliza cemento, betún y ligantes compuestos.

En los campos de aplicación mencionados para la consolidación de suelos y el reciclaje, el método de Mix-in-place se distingue por:

- alta flexibilidad en obras pequeñas y también en obras grandes
- productividad convincente
- y, sobre todo, por su alta rentabilidad.

Objetivos del método:

- Mejora de la resistencia a la carga
- Mejora de la resistencia a las heladas

Ventajas del método:

- Ahorro de materias primas
- Eliminación de residuos abandonados
- Reducción del transporte de material
- Protección de la red de caminos y carreteras en la vecindad
- Entrega rápida de los nuevos caminos y carreteras al tráfico

La combinación de las máquinas aplicadas para el método de Mix-in-place cambia según el tipo de aplicación y de los ligantes empleados.

El método de Mix-in-place para construcción se caracteriza por una fresadora – BOMAG MPH 122 estabilizador/reciclador. Para la consolidación de suelos se fresa el subsuelo; para el reciclaje de Mix-in-place se fresa toda la construcción de caminos y carreteras, incluso la capa base no aglomerada. Con este método, el material desmenuzado se puede mezclar con cemento, cal o ligantes bituminosos según las necesidades.

Según el ligante empleado se necesita un esparcidor y/o un vehículo cisterna de betún. Ligantes en forma de polvo como p.ej. cal o cemento normalmente se aplican delante de la fresadora sobre la superficie existente. La fresadora pasa por encima del ligante y lo mezcla con agua y el material desmenuzado en una pasada de trabajo. Una cisterna entra en servicio cuando hay que añadir agua para alcanzar una humedad del subsuelo necesaria para la compactación.

Después del fresado del material existente, un compactador realiza la compactación inicial de la capa de base formada una nueva. A continuación se perfila con una motoniveladora y se compacta definitivamente con otro compactador.

Dependiendo del tipo de la carretera y la carga de tráfico, la nueva capa de base consolidada se cubre con las capas de asfalto según la estructura prevista para la carretera.

Estabilizador/Reciclador BOMAG MPH 122

El equipo clave para el método de Mix-in-place es la fresadora BOMAG MPH 122. La máquina es de aplicación universal. Se utiliza para la consolidación de suelos no resistentes y para el reciclaje en frío y estructuras viales aglomeradas.

El motor diesel Deutz refrigerado por agua y con control electrónico, tiene una potencia de 330 kW, y como es suficientemente potente, un ancho de trabajo de 2330 mm y profundidad de



Fig. 3: BOMAG MPH 122

Datos técnicos – BOMAG MPH 122:

Potencia motor	330kw/442hp
Norma gas de escape	EPA II
Peso operativo CECE	20,7 t
Ancho rotor	2330 mm
Max. profundidad fresado	500 mm
Velocidad de trabajo*	0 – 45 m/min
Velocidad de marcha	12 km/h
Radio interior/exterior de giro	3500/6300 mm

* Margen de regulación de la velocidad de trabajo de hasta max. 45 m/min, en función del tipo de aplicación, naturaleza del terreno y profundidad de trabajo.

trabajo de hasta 500 mm no son ningún problema. Durante la aplicación, un control electrónico de la potencia controla el servicio económico del MPH 122, de forma que la máquina puede trabajar continuamente con la máxima potencia sin peligro de sobrecarga. Los motores de accionamiento hidrostáticos de los rotores están integrados en el rotor de fresado. Este concepto de accionamiento ofrece máxima eficiencia en la transmisión de potencia. De esta forma realiza las aplicaciones más duras sin ningún problema.

Una protección de sobrecarga hidráulica protege contra daños graves en caso de obstáculos imprevistos, p.ej. rocas escondidas en la tierra, carriles de acero o similar. La velocidad del rotor se puede adaptar a las condiciones del trabajo durante el fresado para alcanzar el mejor resultado de mezcla.

Según muestra la experiencia, la velocidad de trabajo para el servicio de consolidación está entre 8 y 20 m/min y en el reciclaje entre 4 y 12 m/min.

Una velocidad de trabajo de 45 m/min se puede alcanzar, p.ej., en la consolidación si el material es fresado por segunda vez para airearlo. Para esto, a la superficie se trabaja se le da una segunda pasada con profundidad de fresado más reducida.

Para facilitar una adición de agua y/o betún durante el fresado, el MPH 122 se puede equipar con un sistema de riego. Con estos sistemas de dosificación los áridos se pueden añadir de forma manual o automática a la cámara de mezclado de la fresadora en función de la velocidad.

Sistema dosificador de agua:

El material para la capa base recibe el agua necesaria para optimizar el contenido de humedad para una mejor compactación a través de la barra de riego. El sistema aporta la cantidad de agua necesaria en función de la velocidad de trabajo. Las toberas de inyección se pueden accionar por pares, facilitando de esta forma realizar anchos de trabajo adecuados en los casos de solapados o trabajos en bandas laterales.

Sistema dosificador de betún:

El sistema del MPH 122 es apropiado tanto para la dosificación de emulsión bituminosa como también para betún espumoso caliente. La adición del me-

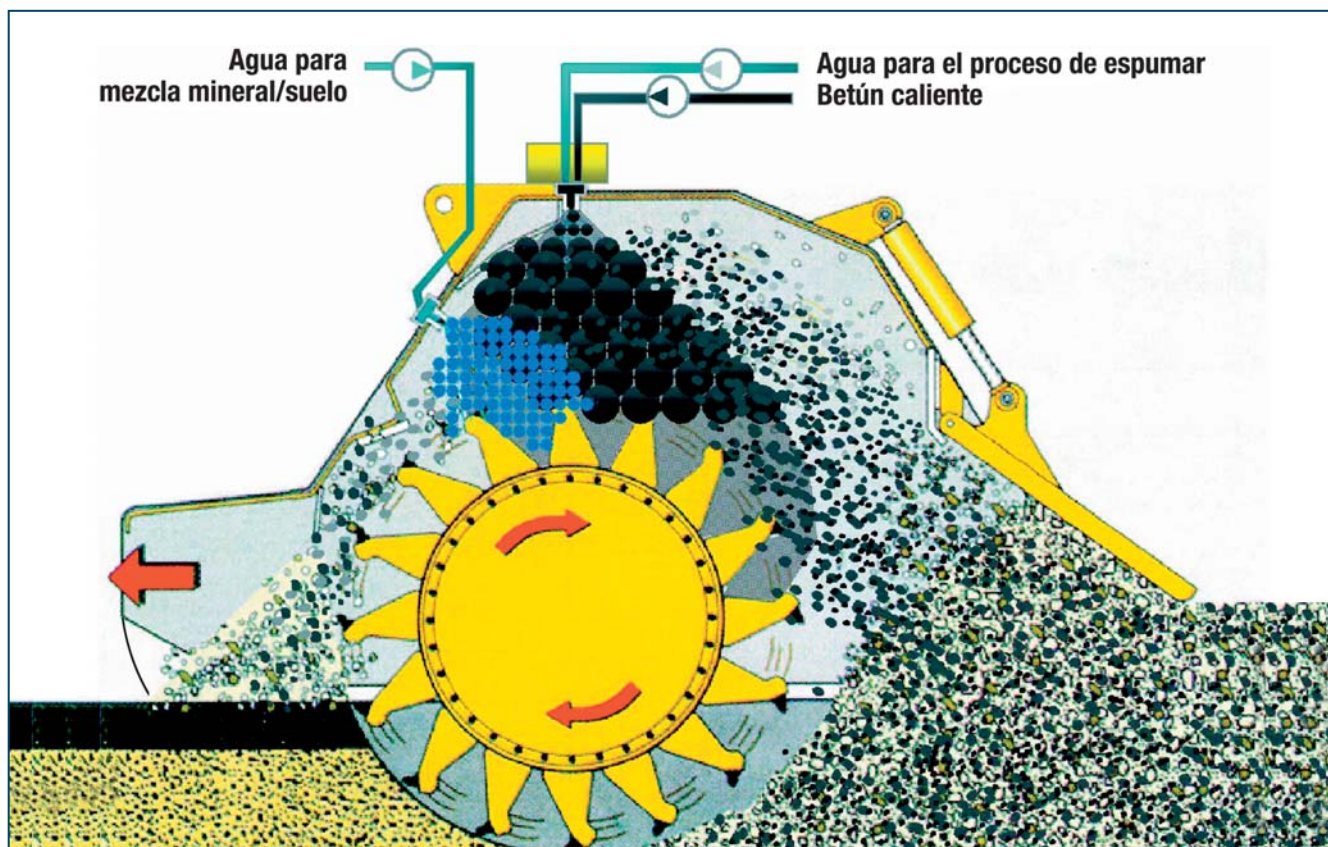


Fig. 4: Método Mix-in-place

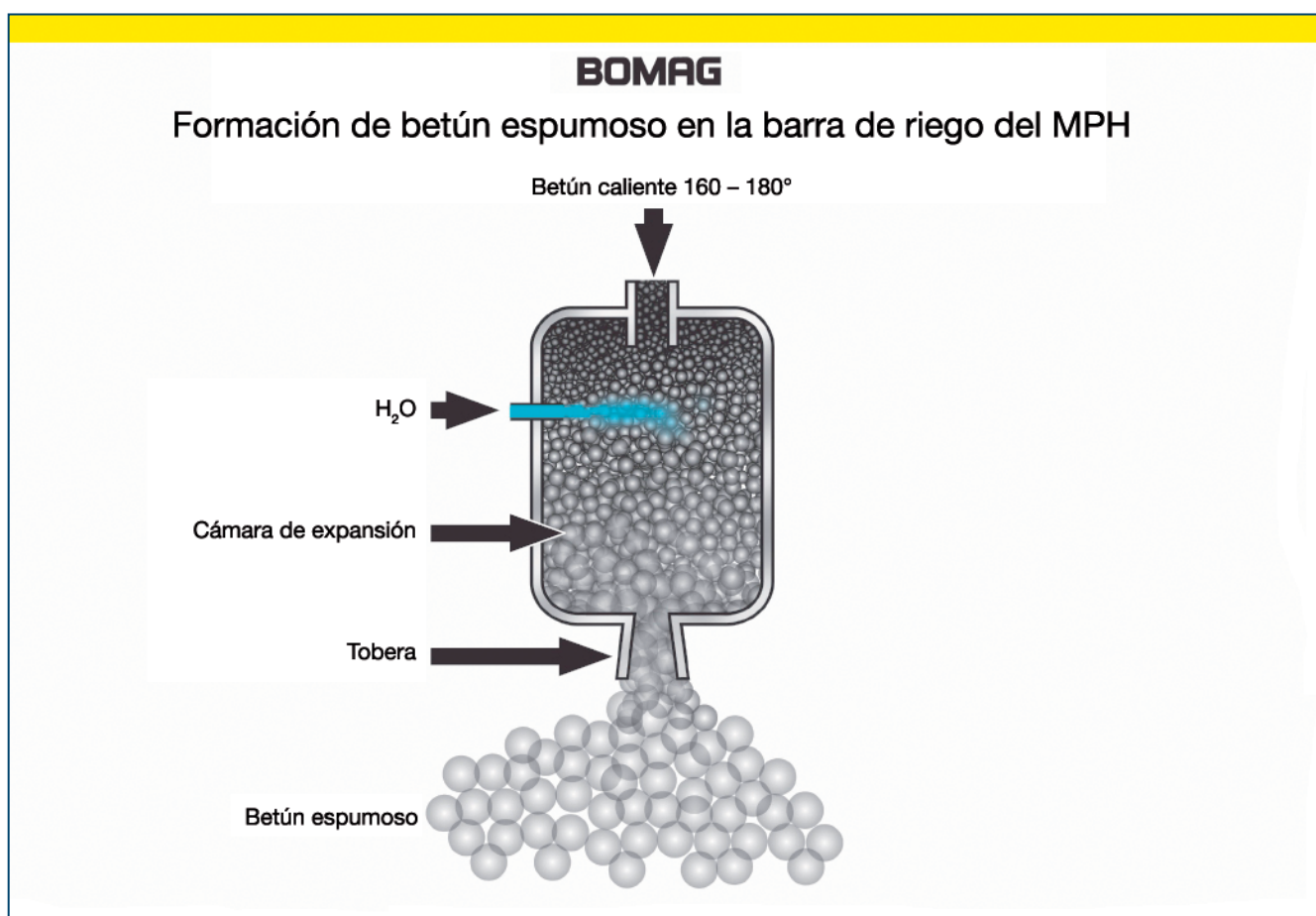


Fig. 5: Formación de betún espumoso en la barra rociadora del MPH

Ventajas del betún espumoso:

Consolidaciones con betún espumoso presentan buenas características de resistencia y elasticidad. Especialmente se debe acentuar la significativa reducción de la tendencia a agrietamiento.

El betún espumoso es apropiado para casi todas las mezclas minerales y materiales de reciclaje.

Además, tiene muy buenas características de envoltura con mezclas de materiales de construcción fríos y húmedos.

Para producir betún espumoso se puede utilizar betún de uso común. Esto asegura una alta disponibilidad.

Con el método Mix-in-place de BOMAG la producción del betún espumoso se realiza directamente en la máquina de forma rápida y fácil.

Betún espumoso es un ligante económico dado que se requieren muy pocas cantidades.

Costes de transporte y material se pueden reducir por las comparativamente reducidas cantidades de betún y agua agregados al material del suelo.

El material mixto es viable directamente después de la compactación. Esto reduce entorpecimientos de la circulación a un mínimo.

vertederos son considerables. Por este motivo, el tratamiento de suelos existentes y el reciclaje en situ de carreteras dañadas se impone más y más en todo el mundo.

El método Mix-in-place de BOMAG ofrece la gran ventaja de la reutilización de los materiales de construcción existentes por completo. Por lo tanto, ya no se requiere llevarlos a un vertedero. Por la utilización del material presente se puede lograr, además, un significativo ahorro de materias primas. Esto significa también una reducción de los transportes de material y por lo tanto mucha menor carga en la red de carreteras y para el medio ambiente. También el consumo de materiales de construcción se reduce considerablemente.

Por las ventajas económicas del método de Mix-in-place mencionadas, ahora en comparación con construcciones convencionales (desintegración de asfalto, vertido y colocación de nuevos materiales de construcción) se pueden lograr economías de hasta el 30 %.

El potencial de ahorro que logra la aplicación del método de Mix-in-place ahora se demuestra con el siguiente cálculo modelo.

Los costes utilizados para el cálculo modelo se basan en los actuales valores de la industria de construcción de carreteras en el ámbito de Europa Central. Gastos indirectos y recargos no se toman en consideración para ello.

En la definición de la nueva estructura de las carreteras con el correspondiente método de construcción se prestó atención a la posibilidad de poder compararlos respecto a calidad y características de resistencia.

En relación con este cálculo modelo, se debe mencionar que los respectivos costes de las máquinas dependen de muchos parámetros diferentes, como p.ej., tamaño de máquina, alcance y período del proyecto, condiciones locales, etc. Por lo tanto los costes pueden variar dependiendo del proyecto.

dio ligante es efectuada en la cubierta del rotor durante el fresado.

Betún espumoso se produce cuando al betún caliente se agregan cantidades reducidas de agua (1,5–3,5 %). El betún utilizado para esto es un betún de uso común de las clases 50/70 – 160/220 normalmente empleado para asfaltados en la construcción de carreteras.

El proceso de espumar el betún caliente se realiza directamente en el MPH 122 dentro del a cámaras de expansión de la barra de riego. Durante este proceso, el llamado agua de reacción se evapora rápidamente con su agregación al betún caliente. Esto tiene el efecto de que el betún golpe se vuelva espumoso de golpe y aumenta su volumen de 10 a 20 veces. A continuación, la espuma bituminosa entra al espacio de mezcla de la cubierta del rotor por los agujeros de las toberas, uniformemente distribuidas por todo el ancho de trabajo. Aquí, todo el material fresado se envuelve durante el proceso de mezclado debido al breve aumento de volumen.

Igual que el sistema dosificador de agua, también aquí el ancho de trabajo se puede adaptar en caso de solapados o trabajos en bandas laterales.

Con el servicio del MPH 122 las demandas de la construcción técnica para una uniforme calidad de mezcla, profundidad de trabajo constante y también, precisión de dosificación de agua y betún, se cumplen por completo.

En la aplicación del método de Mix-in-place lo principal, sin embargo, son los aspectos económicos y los reducidos costes de servicio.

Rentabilidad del método Mix-in-place de BOMAG

La sustitución de tierras para la construcción de nuevas carreteras y polígonos industriales, como también para la renovación de firmes con necesidad de saneamiento, requiere elevados esfuerzos económicos. Los costes de nuevos materiales de construcción, los transportes y un gran volumen de

Resumen/Comentario final

Nuevas demandas de la legislación y menos dinero disponible imponen a las empresas salir del camino convencional en el mantenimiento de la red de carreteras existentes. De esta forma, la importancia de los métodos alternativos y más rentables en el tratamiento de suelos aumenta cada día.

El método Mix-in-place de BOMAG se utiliza desde hace tres décadas para la producción de capas de base consolidadas con el método combinado de construcción en la nueva construcción de carreteras y de afirmados con necesidad desaneamiento. Con la aplicación de este método de construcción, dependiendo de las condiciones generales de un proyecto, se puede ahorrar hasta el 30% en comparación con métodos convencionales para la sustitución de suelos.

Pero el potencial de ahorro del método de Mix-in-place no sólo se muestra mediante el cálculo modelo como parte de este artículo. La gran ventaja del método se confirma sobre todo por el número de aplicaciones del BOMAG MPH 122, en crecimiento continuo en todo el mundo.

Algunos ejemplos son la construcción de la autovía A 20 al norte de Alemania y de la autovía A 28 en Francia, la renovación de la pista de despegue del aeropuerto internacional de Teherán, la renovación de la carretera nacional en la provincia Yantai en China, y de la autovía A 1 entre Roma y Nápoles, y la nueva construcción de las carreteras nacionales en la cercanía de Herat en Afganistán y del A N 1 en Sudáfrica.

Comparación: Método Mix-in-place de BOMAG / Método convencional		
Proyecto:		
Reconstrucción de carretera nacional		
Superficie	12.000 m ²	
Superficie antigua:		
Capa portante/ligante/subbase	4 cm / 4 cm / 10 cm	
Capa antihelada	Schotter 0/45	
Comparación de coste:		€/m²
Reciclaje Mix-in-place con cemento und emulsión bituminosa		
Eliminar la capa de asfalto y transporte a verrtedero d = 8 cm		1,60
Ralizar capa portante reforzada con cemento D = 25 cm		
Reutilizando parcialmente el material existente d = 10 cm		
Y parcialmente reutilizando la capa antihelada d = 15 cm		
- Extendido del cemento con esparcidora		
- Fresado y triturado conjuntamente con		
- aportación de agua y		
- aportación de cemento (3%) y		
- incorporar emulsion bituminica (3%)		
- Nivelado con niveladora		
- Compactar con rodillo 19t		
Trabajos posteriores sobre la capa portante de cemento – limpieza mecánica		0,20
Realizar capa ligante asfaltica d = 6 cm		5,40
Realizar capa de rodadura d = 4 cm		5,00
Coste total (importes sin IVA)		18,70
Método convencional „Extracción asfalto y eliminación“		
Eliminar capa asfalto y transporte d = 18 cm		3,60
Reforzado de capa portante existente con grava 0/45 (300 kg/m ²)		5,00
Realizar capa portante de asfalto d = 10 cm		6,00
Realizar capa ligante de asfalto s = 6 cm		5,40
Realizar capa de rodadura de asfalto d = 4 cm		5,00
Costes totales (importes sin IVA)		25,00
Potencial de ahorro – Reciclaje Mix-in-place		
Diferencia costes totales en	€/m ²	6,30
Potencial de ahorro en	%	25

La cantidad de concursos-subasta y demandas en continuo crecimiento son otro indicador de que ya ha comenzado el cambio de dirección al método Mix-in-place de BOMAG.

Thomas Sans
 (Jefe de Producto Estabilizadores/
 Recicladores)



Fig. 6: Construcción de nuevas carreteras en Afganistán

Compactación de suelos „superficial“

En este artículo de la serie de publicaciones de BOMAG, el foco se sitúa en la compactación de suelos y capas de base no aglomeradas con tendencia al aflojamiento en la superficie, como p.ej. arenas densas.

En la compactación de estos compuestos minerales con rodillos autopulsados estándar, la acción en profundidad muchas veces es suficiente.

Sin embargo, el movimiento simultáneo del rodillo sobre la superficie del material produce esfuerzos cortantes produciendo un aflojamiento de la zona superior de la capa compactada. Sin la aplicación de un equipo de compactación apropiado, el contratista no sería capaz de alcanzar las exigencias de compactación especificadas en la documentación de la obra, sobre todo en relación a los módulos de deformación E_{v2}/E_{v1} . Una máquina de compac-

tación idónea para estos tipos de obra es el BW 213 DH-4 BVC con bandejas vibrantes – un rodillo autopulsado de 16 t con BOMAG VARIOCONTROL (BVC) y bandejas vibrantes acopladas al bastidor trasero (ver Figura 1). Para demostrar la idoneidad de este equipo para los materiales arriba mencionados, en esta publicación se describen tanto la tecnología de la máquina como las condiciones de aplicación, y las ventajas de coste para el contratista se explican con dos cálculos modelo. Finalmente el contenido se completa con la descripción de un proyecto de obra ya ejecutado.

Suelos problemáticos y compuestos minerales

Las superficies aflojadas son típicas en suelos de grano grueso como gravas y arenas (símbolos de suelo: GE, GI, SE y SI de acuerdo con DIN 18196), pero también en compuestos minerales con muchos espacios vacíos (capas anti-congelantes y capas de base de grava y cascajos de acuerdo con ZTV T-StB 95/02) con poco grano fino (diámetro del grano $< 0,06$ mm: $< 8\%$) o reducidos grados de irregularidad ($U < 6$). En esto, los esfuerzos residuales en la superficie libre a compactar son tan reducidos debido a falta de carga de contacto o grano solidificado, que no



Figura 1: Rodillo autopulsado BOMAG BW 213 DH-4 BVC con bandejas vibrantes

se puede asegurar una compactación duradera.

Técnica de la maquina

Aquí se tratan exclusivamente los principios de construcción de las bandejas vibrantes.

En cuanto a la descripción técnica del BOMAG VARIOCONTROL (BVC), remítanse a la publicación técnica en la edición 10/2004 de Construcción de carreteras y obras públicas: „Compactación de suelos a régimen reducido“. En la compactación de suelos de granulado grueso y compuestos minerales con reducida presencia de grano fino, la tecnología BVC, por su adaptación automática de la amplitud de compactación, contribuye a evitar indeseables situaciones del rodillo como saltar o tambalearse, asegurando un óptimo contacto permanente con la superficie del suelo. Gracias a ello, los aflojamientos en la capa a compactar ya se limitan a un mínimo. Cualquier aflojamiento que pudiese existir se somete después a una compactación con las bandejas vibrantes del BW 213 DH-4 BVC.

La versión de las dos bandejas vibrantes de accionamiento hidráulico del BW 213 DH-4 BVC, en comparación con la solución convencional de tres bandejas, proporciona una mejor superficie plana de la capa de fondo a compactar, dado que en total hay un espacio menos entre bandejas, y el contacto más íntimo de las bandejas más anchas produce menos deformaciones en la superficie. Una ventaja especial de las nuevas bandejas vibrantes de BOMAG para los rodillos autopropulsados de la cuarta generación, es su desplazamiento lateral. Las bandejas se pueden desplazar 70 cm a izquierda o derecha pulsando un botón. De esta forma, la compactación de taludes y bordillos se facilita considerablemente (ver Figura 2).

Las frecuencias de compactación son de una importancia significativa en tipos de suelo y compuestos minerales con tendencia al aflojamiento de la superficie. En la versión de bandejas desarrollada por BOMAG, la frecuencia se puede regular en cabina por el ope-



Figura 2: Compactación de un talud con desplazamiento lateral de las bandejas



Figura 3: Rodillo autopropulsado con bandejas vibrantes en posición de transporte

rador del rodillo en una gama entre 30 y 55 Hz. Esto, en combinación con el óptimo peso de servicio de las bandejas, proporciona un efecto de compactación del BW 213 DH-4 BVC que no lo deja atrás en comparación con otros equipos utilizados para obras similares, como p.ej. el tractor de ruedas con

compactador de seis placas o compactadores con ruedas de goma.

Condicionado por la construcción, las bandejas vibrantes adosadas a rodillos autopropulsados se pueden utilizar para compactar sólo en marcha hacia delante. Para marcha atrás las bandejas

hay que elevarlas hidráulicamente. Esta función facilita también el transporte y el cambio de sitio de la máquina (ver Figura 3).

Como se puede ver en Figura 3, el rodillo autopropulsado BOMAG aún con las bandejas es extremadamente móvil y todo terreno gracias al Anti-Spin-Control (ASC - antipatinaje). Cuando se requiere el servicio del BW 213 DH-4 BVC sin bandejas, se pueden desenganchar las bandejas de la máquina en sólo unos segundos. Para ello todas las mangueras disponen de acoplamiento rápidos.

Recomendaciones de aplicación

Durante la compactación con rodillos autopropulsados con bandejas vibrantes normalmente se utiliza la vibración del rodillo y de las bandejas simultá-

neamente. El BVC trabaja en modo automático con un valor teórico de E_{vib} prefijado correspondiendo al valor E_{v2} especificado en los documentos de contratación para el suelo a compactar (p.ej.. capa de base de grava 20 cm: $E_{v2}=150 \text{ MN/m}^2=E_{vib}$).

Referente a la frecuencia de las bandejas vibrantes se puede ofrecer la siguiente recomendación: más fino el grano de la mezcla a compactar, más alta debería ser la frecuencia de compactación elegida. Esto quiere decir, que la arena se debe compactar con frecuencias alrededor de 50 Hz, la grava y materiales anticongelantes con valores entre 47 Hz y 40 Hz, y las capas base de gravilla con frecuencias bajas alrededor de los 35 Hz.

Ventajas económicas

Para compactar suelos y compuestos minerales con tendencia al aflojamiento, en vez de rodillos autopropulsados con bandejas vibrantes, también se pueden utilizar compactadores con ruedas de goma o tractores de ruedas con compactador de seis placas, ambos en combinación con rodillos autopropulsados estándar. Para mostrar la ventaja financiera para el contratista en la utilización de un BW 213 DH-4 BVC con bandejas vibrantes, a continuación se determinan y comparan los costes para estas tres máquinas para la compactación de una capa de base de grava.

Para ambas versiones se obtiene una ventaja significativa entre el 15 % y 25 % para el rodillo autopropulsado con bandejas vibrantes. Dado que en este caso la compactación está ejecutada por un equipo de compactación con operador en vez de dos, los ahorros resultan por una parte de los reducidos costes salariales y por otra parte de los reducidos costes de combustibles (diésel y lubricantes).

Proyecto de obra ejecutado

En los trabajos de la autovía BAB A9 entre el cruce Hermsdorf y frontera estatal de Baviera / Turingia se utilizaban dos rodillos autopropulsados BOMAG BW 213 con BVC y bandejas vibrantes para la compactación de capas de base anticongelantes y de gravilla (ver Figura 4). Los valores de resistencia E_{v2} exigidos en los documentos de contratación se especificaban en 120 MN/m² y 180 MN/m². Con la relación de los módulos de deformación E_{v2}/E_{v1} se debía alcanzar como mínimo 2,2. Especialmente el valor E_{v2} de 180 MN/m² y la relación E_{v2}/E_{v1} para la capa de base de gravilla a extender en 2 capas presentaban muy altas exigencias a la compactación. Sin embargo, en general fue posible alcanzar estas resistencias después de 6 pasadas con el BW 213 DH-4 con bandejas vibrantes.

Resumen

Los aflojamientos de la superficie presentan un problema recurrente en la compactación de gravas, arenas y ca-

Cálculo de costes para una obra ficticia de construcción de carreteras (Combinación de los equipos óptimamente adaptados, con costes salariales, A+V+R, otros costes y recargos calculados)		
Descripción de la medida de obra:	Compactación de 25 cm de capa de base de grava 0/45 Altas demandas de densidad $E_{v2}=150 \text{ MN/m}^2$; $E_{v2}/E_{v1}=2,2$ Lote a ejecutar: 20.000 m ²	
Equipos de compactación:	BW 213 D-4 y Compactador de neumáticos 24 t	BW 213 DH-4 BVC con bandejas vibrantes
Modo de trabajar:	4 pasadas con BW 213 D-4 4 pasadas con compactador con ruedas de goma	6 pasadas con BW 213 DH-4 BVC con bandejas vibrantes (3 de las 6 pasadas con bandejas)
Formula para cálculo capacidad L_t	$L_t = 60 (b - \ddot{u}) v_a / n$ ¡Para el conjunto de equipos lo decisivo es la capacidad de compactación más baja del equipo individual! b = Ancho de trabajo $\ddot{u}$ = Recubrimiento de pasadas v_a = Velocidad de trabajo en m/min (75 % de la velocidad de compactación) n = Número de pasadas	
Observación	Decisiva para el cálculo de costes es la capacidad de comp. del BW 213 D-4	
Cálculo de L_t en m ² /h	60 (2,13 - 0,13) 0,75 x 40/4	60 (2,13 - 0,13) 0,75 x 40/6
Capacidad en m ³ /h	900	600
Costes totales para el tren de compactación en €/m ² :	0,20	0,17
Costes totales para compactar 20.000 m ² capa de base de grava:	4.000	3.400
El resultado: Ahorro de costes con la utilización de rodillos autopropulsados con bandejas vibrantes BOMAG: 15 %		

Tabla 1: Comparación de costes entre rodillo autopropulsado con bandejas vibrantes y rodillo autopropulsado estándar con compactador de ruedas de goma

pas de base no cohesivas de grano redondo y también quebrado con equipos de compactación estándar. Para compensarlo, con el BW 213 DH-4 con bandejas vibrantes, el contratista que realiza la obra tiene a su disposición un moderno equipo de compactación. Este rodillo autopropulsado combina dos tecnologías innovadoras, el BOMAG VARIOCONTROL (BVC) y las bandejas vibrantes. Con la combinación de ellas es posible compactar compuestos minerales con tendencia al aflojamiento de forma fiable, y como se ha comprobado con los cálculos incluidos, también de forma muy rentable.

Con la aplicación de un rodillo autopropulsado resultan ahorros de costes entre el 15% y 25% en comparación con los equipos de compactación tradicionales.

Dirk Janitzki
 (Jefe de Producto Rodillos Autopropulsados)

Cálculo de costes para una obra ficticia de construcción de carreteras (Combinación de los equipos óptimamente adaptada, con costes salariales, A+V+R, otros costes y recargos calculados)

Descripción de la medida de obra:	Compactación de 25 cm de capa de base de grava 0/45 Altas demandas a la densidad $E_{v2}=150 \text{ MN/m}^2$, $E_{v2}/E_{v1}=2,2$ Lote a ejecutar: 20.000 m ²	
Equipos de compactación:	BW 213 D-4 tractor de de ruedas con placas compactador de seis 4 pasadas con BW 213 D-4 2 pasadas con tractor de ruedas con compactador de seis placas	BW 213 DH-4 BVC con bandejas vibrantes
Modo de trabajar:		6 pasadas con BW 213 DH-4 BVC con bandejas vibrantes (3 de las 6 pasadas con bandejas)
Formula para cálculo capacidad L_t	$L_t = 60 (b - \ddot{u}) v_a / n$ ¡Para conjunto de equipos lo decisivo es la capacidad de compactación más baja del equipo individual! b = Ancho de trabajo $\ddot{u}$ = Recubrimiento de pasadas v_a = Velocidad de trabajo en m/min (75 % de la velocidad de compactación) n = Número de pasadas	
Observación	Decisiva para el cálculo de costes es la capacidad de comp. del BW 213 D-4	
Cálculo de L_t en m ² /h	60 (2,13 - 0,13) 0,75 x 40 / 4	60 (2,13 - 0,13) 0,75 x 40 / 6
Capacidad en m ³ /h	900	600
Costes totales para el tren de compactación en €/m ²	0,23	0,17
Costes totales para compactar 20.000 m ² capa de base de grava:	4.600	3.400

**El resultado: Ahorro de costes con la utilización de rodillos
 autopropulsados con bandejas vibrantes BOMAG: 25 %**

Tabla 2: Comparación de costes entre rodillo autopropulsado con bandejas vibrantes y rodillo autopropulsado estándar y compactador de seis placas



Figura 4: BW 213 DH-4 BVC con bandejas vibrantes en la autovía BAB A9



MAQUINTER

C/Estaciones, 1 – P.I. Las Monjas

28850 Torrejón de Ardoz

T: 91 677 77 05 – comercial@maquinter.es

BOMAG, Hellerwald, 56154 Boppard, Germany
Tel.: +49 6742 100-0, Fax: +49 6742 3090
e-mail: germany@bomag.com