

Estudio hidráulico del comportamiento de los gaviones flexibles laminares

Autor:

Technische Universität Dresden
Institute of Hydraulic Engineering and Technical Hydromechanics
Faculty of civil engineering
Dresden · Germany

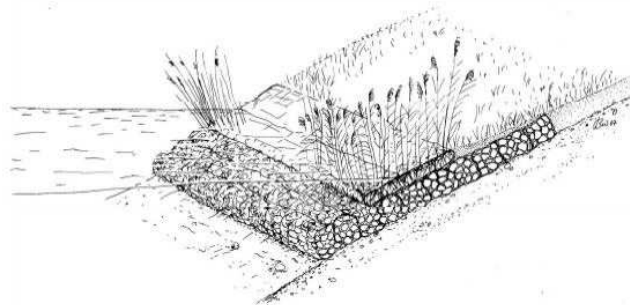
1 Motivación y objetivo

Naturalea es una empresa precursora en la utilización de nuevos materiales para la ingeniería fluvial. Uno de ellos es el gavión flexible laminar, una estructura compartimentada por una serie de cilindros estructurados en red de polietileno de alta densidad rellenos de gravas y unidos entre sí formando un colchón de revestimiento.

Con el objetivo de obtener datos sobre la resistencia y el comportamiento de esta estructura frente a las solicitaciones hidráulicas, el grupo ESWEG (European Soil and Water Engineering Group) ha encargado a la *Technische Universität de Dresden* la realización de un estudio basado en un análisis experimental en laboratorio. En el presente informe se recoge un resumen de este interesante estudio.



Steinmatratzen (200 x 200 cm) auf der Baustelle



Prinzipskizze mit Röhrichtmatte an der Mittelwasserlinie sowie Überdeckung und Ansaat der anschließenden Böschungsbereiche.

Figura 1. Colchón formado por gaviones flexibles laminares

2 Descripción del modelo

2.1 Configuración del modelo

Los test o experimentos se han realizado en la *Technische Universität Dresden*, en el laboratorio *Hurben Engels* del *Institute of Hydraulic Engineering and Technical Hydromechanics*.

Se provee de tres gaviones flexibles laminares con un ancho aproximado de 750mm y se instalan en un canal de vidrio con sección cuadrada de 800mm. Se fijaron in situ formando una matriz de 800mm x 900mm x 200mm.

El experimento principal se realizó sobre una superficie horizontal uniforme (LF1 y LF2). En este punto se añadieron fuerzas adicionales al colchón de gaviones flexibles. También se colocaron los gaviones sobre un lecho con pendiente, en este caso sin añadir fuerzas adicionales. Se monitorizaron los diferentes casos, tanto informática como visualmente.

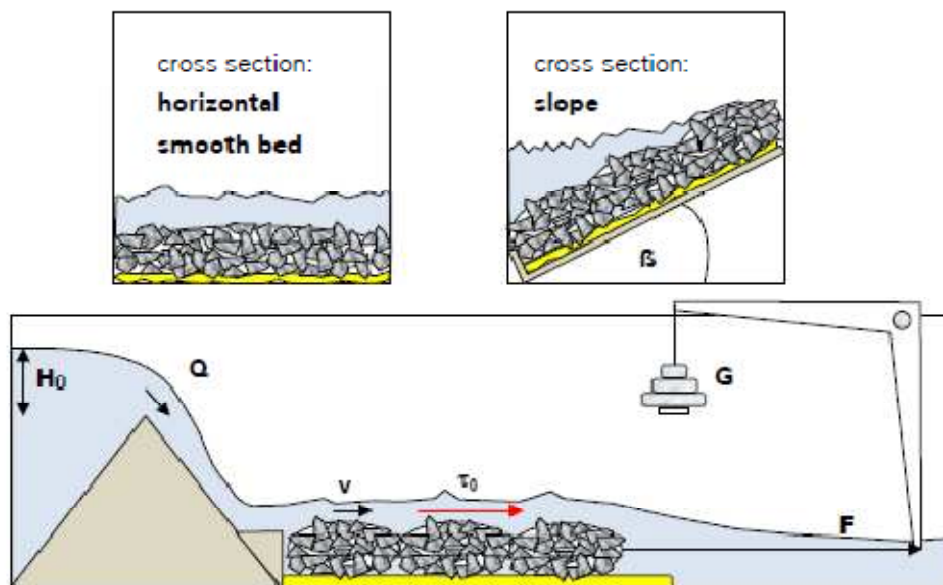


Figura 2. Esquema del modelo experimental



Figura 3. Gaviones flexibles en el canal experimental

Para generar el caudal, el agua se almacenó en una presa hasta provocar el vertido, bajo condiciones de flujo laminar. Con este efecto conseguimos velocidades ligeramente superiores a 2m/s. Se utilizaron dos bombas con un caudal máximo de 155 l/s. Algunas de las gravas fueron etiquetadas para monitorear desplazamientos.

Dado que las velocidades obtenidas no son suficientes para desplazar los gaviones, se utilizó un sistema de palanca para generar una fuerza horizontal adicional F suficiente para determinar el inicio del movimiento. (Figura 2 y 5).



Figura 4. Marcado de la grava superior del cilindro



Figura 5. Sistema para aplicar la tensión

Las velocidades se midieron usando un microvelocímetro de hélice SCHILDKNECHT. Se usaron marcas simples de medición monitoreadas para los niveles de agua.

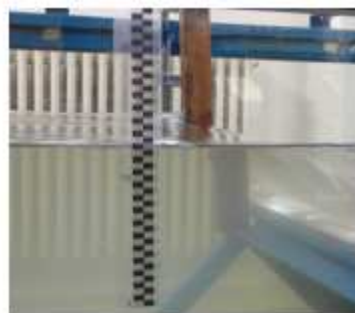
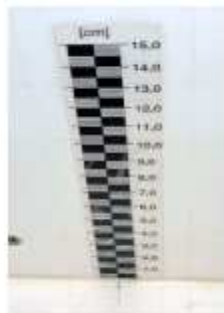


Figura 6. Elementos de medición, y lectura de marcas de nivel de agua

2.2 Casos de estudio

Fueron examinados tres casos. El primer caso se corresponde a un lecho uniforme y liso de acero. El segundo caso, el colchón de gaviones flexibles se colocó sobre una base de grava suelta (de diámetro aproximado de 50mm). Ambos casos se examinaron con caudal o simplemente inundados (sin flujo dinámico). La tensión se aumentó de forma gradual añadiendo pesos a la palanca hasta identificar el inicio del movimiento. En el tercer caso, el colchón de gaviones flexibles se colocó sobre una pendiente de 1:2.

Tabla 1 Casos de estudio examinados en el experimento

LC 1^a	Gavión colocado sobre lecho del canal liso. Caudal generado con velocidad aproximada de 2m/s. Tensión extra aplicada mediante pesos hasta el inicio del movimiento.
LC 1b	Gavión colocado sobre el lecho del canal liso. Tensión extra aplicada mediante pesos hasta el inicio del movimiento. Inundación de los gaviones, sin flujo dinámico (Q=0).
LC 2a	Gavión colocado sobre lecho de material suelto formado por gravas sueltas (diámetro aproximado de 50mm). Caudal generado con velocidad aproximada de 2m/s. Tensión extra aplicada mediante pesos hasta el inicio del movimiento.
LC 2b	Gavión colocado sobre lecho de material suelto formado por gravas sueltas (diámetro aproximado de 50mm). Tensión extra aplicada mediante pesos hasta el inicio del movimiento. Inundación de los gaviones, sin flujo dinámico (Q=0).
LC 3	Gavión colocado sobre lecho con pendiente de 1:2. Los gaviones se colocan de forma horizontal. No se aplican fuerzas externas.

2.3 Metodología experimental

La prueba para cada caso de estudio (con flujo) se realizó incrementado el rango de flujo hasta alcanzar el valor máximo de 155 l/s. El calado en el aliviadero es de 21 cm, obteniendo una velocidad de 2m/s en el inicio de la zona de gaviones. Esta condición se monitorea y filma para un máximo de 30 minutos. Después, se usa el sistema de palanca para aplicar una fuerza a los gaviones con un peso determinado, a partir de la adición de pesos individuales de forma gradual. Los pesos se fueron añadiendo de forma que se reducía el peso a medida que se acercaba al límite de movimiento lo que permitió una determinación relativamente exacta del inicio del deslizamiento y por lo tanto, del movimiento. La inundación sobre los gaviones fue aproximadamente de 10cm. Las pruebas para los casos b se realizaron bajo los mismos condicionantes, pero sin flujo. Los gaviones se encontraban totalmente inundados.

3 Resumen de los resultados experimentales

La tensión aplicada τ_f se determina como el cociente entre la fuerza activa introducida justo en el momento que se inicia el movimiento y el área del colchón.

$$\tau_F = \frac{F}{A} = \frac{G \cdot g}{A}$$

La tensión crítica τ_c se calcula como la suma de la tensión aplicada y la tensión de fondo producida por el flujo.

$$\tau_c = \tau_F + \tau_v$$

No se han observado desplazamiento de las gravas durante el proceso de flujo hidráulico. El peso de los gaviones se determina a partir de los siguientes valores teóricos:

Tabla 2 Peso de los gaviones flexibles laminares

Gavión flexible	1	2	3	Total
Peso (Kg)	53	55	54	162
Peso sumergido (Kg)	32	34	33	99

Tabla 3 Resumen de las tensiones obtenidas para cada caso de estudio

	Q	G	F	tf	tc
	l/s	Kg	N	N/m2	N/m2
LC 1a	155	8.1	79.5	110.4	340.4
		13.1	128.5	178.5	408.5
		8.1	79.5	110.4	340.4
LC 1b	0	33.1	324.7	451	451
LC 2a	155	75.6	791.7	1100	1330
		108.7	1066	1481	1711
		71.6	702.4	975.6	1205.6
		105.8	1038	1442	1672
LC 2b	0	106.2	1042	1447	1447
LC 3a	155	0	0	0	90% de LC2a

4 Discusión de los resultados experimentales

Se constata el hecho de que los resultados varían significativamente cuando el lecho donde se apoya el colchón de gaviones flexibles está formado por gravas. Estas variaciones se explican por la diferente interacción con el estrato inferior que dota estabilidad al conjunto. Las pruebas en este estudio se han realizado con una tensión asociada a un área de $A=0.8\text{m} \times 0.9\text{m} = 0.72\text{m}^2$.

La interacción con el sustrato es un efecto que depende del ángulo de fricción interno φ entre los gaviones y el sustrato. La tensión normal horizontal σ del lecho se determina como el peso sumergido F_g de las gravas en relación al área de carga A . La tensión crítica τ_c , e.g. en ensayos de tracción, puede expresarse como:

$$\tau_c = \sigma \cdot \tan \varphi = \frac{F_g}{A} \cdot \tan \varphi$$

Por lo tanto, usando las mediciones sin flujo, el ángulo de fricción interna puede expresarse como

Sustrato metálico

$$\varphi = \arctan\left(\frac{451 \cdot 0.72}{99 \cdot 9.81}\right) = 18.49^\circ$$

Sustrato de gravas

$$\varphi = \arctan\left(\frac{1447 \cdot 0.72}{99 \cdot 9.81}\right) = 47.01^\circ$$

Si los gaviones se disponen en una pendiente, la normal del peso decrece a medida que aumenta el ángulo y por lo tanto, la propia resistencia disminuye frente a las fuerzas tangenciales.

La tensión crítica transversal a la pendiente es

$$\tau_{c1} = \frac{F_g \cdot \cos \beta}{A} \cdot \tan \varphi$$

La tensión crítica en dirección a la pendiente se determina como

$$\tau_{c1} = \frac{F_g \cdot \cos \beta}{A} \cdot \tan \varphi - \frac{F_g \cdot \sin \beta}{A} = \frac{F_g}{A} \cdot \cos \beta \cdot (\tan \varphi - \tan \beta)$$

Por lo tanto, el colchón formado por los gaviones flexibles se desliza por la pendiente cuando el ángulo β es superior o igual al ángulo de reposo ϕ (ángulo de fricción interna).

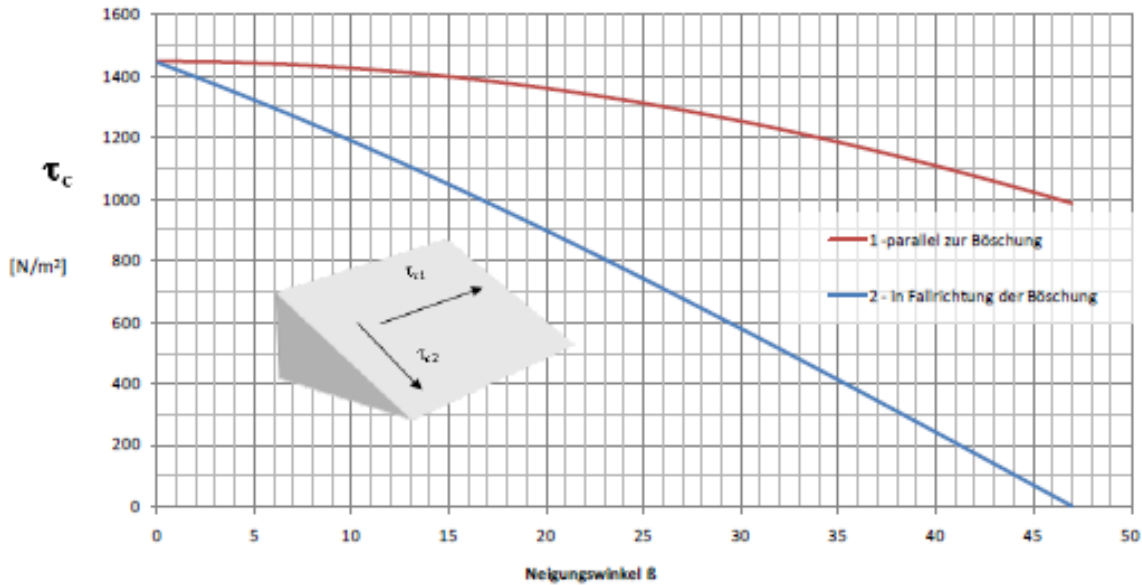


Figura 7. Cálculo teórico de la tensión crítica usando un ángulo de fricción de 47° .

Durante la corriente o flujo continuo los gaviones se encuentran sometidos a grandes variaciones de velocidades (*turbulencias*). Al mismo tiempo, el flujo genera fuerzas de sustentación que hacen más ligero el gavión por un corto periodo de tiempo. Debido a la interacción de la grava con los gaviones esta tensión es eliminada en un alto grado. Es imposible que las gravas, de forma individual, se desplacen.

La relación entre la velocidad y la tensión tangencial sobre los gaviones puede calcularse por la siguiente relación, a partir de la velocidad base del canal

$$\tau_c = \frac{\lambda}{8} \cdot \rho \cdot v^2$$

El coeficiente de fricción λ depende del contacto del área superficial entre el flujo y los gaviones y la velocidad per se. El coeficiente se estima a partir de las ecuaciones de Darcy-Weisbach y Manning-Strickler, e. g. del coeficiente Strickler, k_{st} usando la siguiente fórmula:

$$\lambda = \frac{8 \cdot g}{k_{st}^2 \cdot r_{hy}^{1/3}}$$

La siguiente gráfica ilustra las tensiones obtenidas en función de k_{st} , con un radio hidráulico (r_{hy}) de aproximadamente 0.08m (condiciones de laboratorio). Esta formulación no es válida para calcular las variaciones de velocidad debido a las turbulencias y las fuerzas de sustentación.

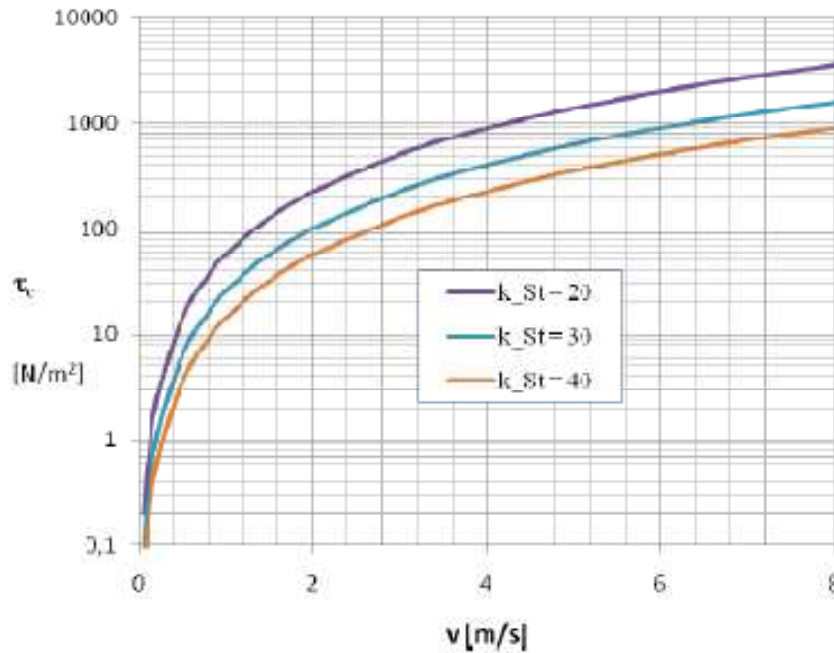


Figura 8. Cálculo teórico de la tensión en función del coeficiente Manning-Strickler para un radio hidráulico de 0.08 m

Si se estima la rugosidad del gavión flexible con un valor de $k_{st} = 20\text{ m}^{1/3}/\text{s}$, la tensión resultante es de 230 N/m^2 aproximadamente, por una velocidad de 2 m/s en el modelo.

De acuerdo con esto, los gaviones flexibles sobre el lecho de gravas soportan tensiones desde 1205.6 N/m^2 hasta 1711 N/m^2 , equivalentes a velocidades de $4,5\text{ m/s}$ a $5,48\text{ m/s}$. Cabe admitir que los resultados de velocidad, bajo condiciones reales, varían de forma considerable dado el carácter turbulento del flujo.

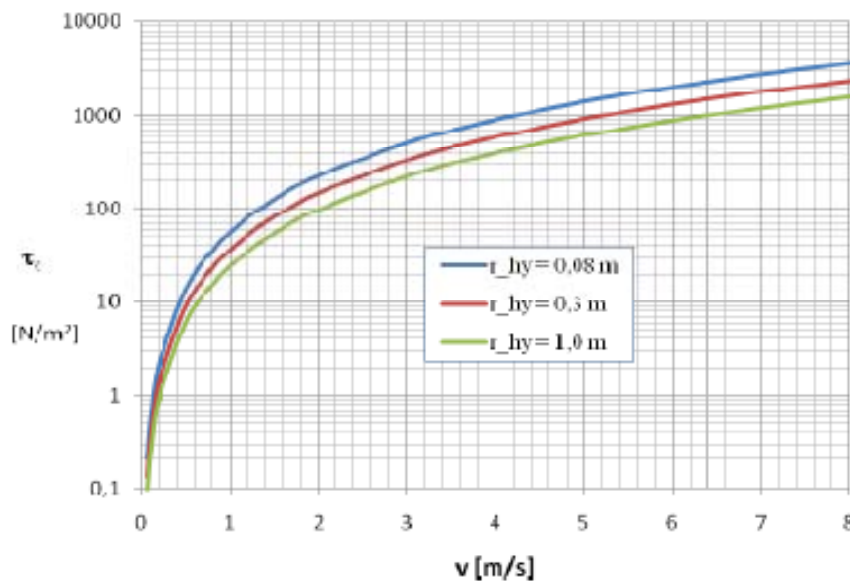


Figura 8. Cálculo teórico de la tensión en función del radio hidráulico para un coeficiente Manning-Strickler de $20\text{ m}^{1/3}/\text{s}$

5 Notas sobre el experimento

Los datos obtenidos en el experimento son válidos bajo condiciones de laboratorio. No obstante, los gaviones flexibles, dispuestos como un colchón en el cauce de un río, pueden asemejarse en un alto grado a una escollera o escollera ligada con hormigón en términos de comportamiento. Este hecho se corrobora con las numerosas experiencias en casos reales.

Cabe indicar, como regla general, la necesidad de verificar su utilización en cada caso concreto. La dinámica fluvial difiere sustancialmente para cada río, por lo que, si bien el colchón de gaviones flexibles es una solución con una gran resistencia (demostrado en el presente informe), el conocimiento certero de la morfodinámica, el estado de equilibrio y la presencia de los distintos fenómenos erosivos es esencial para que su aplicación sea correcta, efectiva y duradera.