

Estudi hidràulic del comportament dels gabions flexibles laminars

Autor:

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

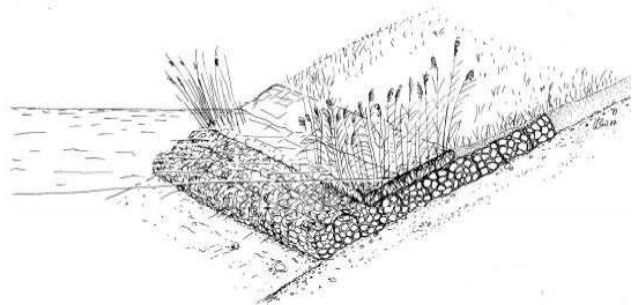
1 Motivació i objectiu

Naturalea és una empresa pionera en la utilització de nous materials per a l'enginyeria fluvial. Un d'ells és el gabió flexible laminar, una estructura compartimentada per una sèrie de cilindres estructurats en xarxa de polietilè d'alta densitat farcits de grava i units entre si formant un matalàs de revestiment.

Amb l'objectiu d'obtenir dades sobre la resistència i el comportament d'aquesta estructura enfront de les sol·licitacions hidràuliques, el grup ESWEG (European Soil and Water Engineering Group) ha encarregat a la Technische Universität de Dresden la realització d'un estudi basat en una anàlisi experimental en laboratori. En aquest informe es recull un resum d'aquest interessant estudi.



Steinmatratzen (200 x 200 cm) auf der Baustelle



Prinzipskizze mit Röhrichmatte an der Mittelwasserlinie sowie Übererdung und Ansaat der anschließenden Böschungsbereiche.

Figura 1. Matalàs format per gabions flexibles laminars

2 Descripció del model

2.1 Configuració del model

Els tests o experiments s'han realitzat a la *Technische Universität de Dresden*, al laboratori *Hurben Engels* del *Institute of Hydraulic Engineering and Technical Hydromechanics*.

Es proveeix de tres gabions flexibles laminars amb un ample aproximat de 750 mm i s'instal·len en un canal de vidre amb secció quadrada de 800mm. Es van fixar in situ formant una matriu de 800mm x 900mm x 200mm.

L'experiment principal es va realitzar sobre una superfície horitzontal uniforme (LF1 i LF2). En aquest punt es van afegir forces addicionals al matalàs de gabions flexibles. També es van col·locar els gabions sobre un llit amb pendent, en aquest cas sense afegir forces addicionals. Es van monitorar els diferents casos, tant informàtica com visualment.

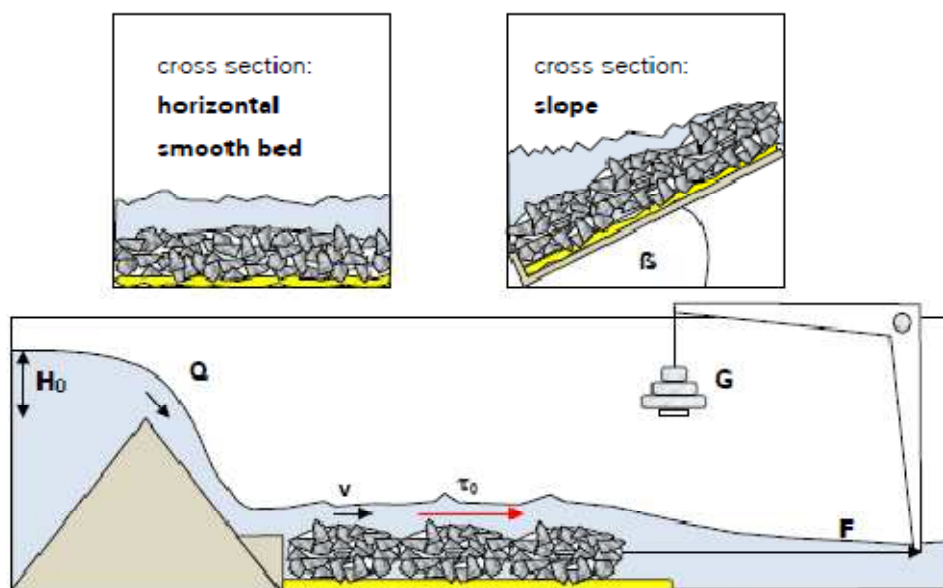


Figura 2. Esquema del model experimental



Figura 3. Gabions flexibles al canal experimental

Per generar el cabal, l'aigua es va emmagatzemar en una presa fins a provocar l'abocament, sota condicions de flux laminar. Amb aquest efecte aconseguim velocitats lleugerament superiors a 2m/s. Es van utilitzar dues bombes amb un cabal màxim de 155 l/s. Algunes de les graves van ser etiquetades per monitoritzar desplaçaments.

Atès que les velocitats obtingudes no són suficients per desplaçar els gabions, es va utilitzar un sistema de palanca per generar una força horitzontal addicional F suficient per determinar l'inici del moviment. (Figura 2 i 5).



Figura 4. Marcat de la grava superior del cilindre



Figura 5. Sistema per a aplicar la tensió

Les velocitats es van mesurar usant un microvelocímetre d'hèlix SCHILDKNECHT. Es van usar marques simples de mesura monitoritzades per als nivells d'aigua.

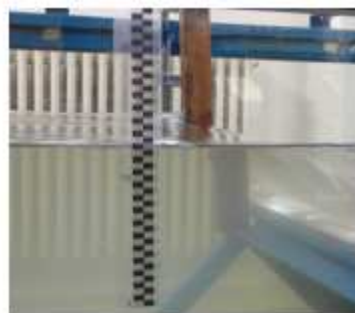
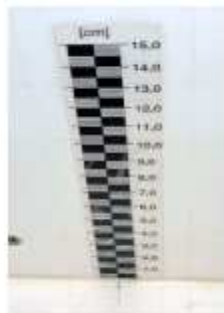


Figura 6. Elements de medició, i lectura de marques de nivell d'aigua.

2.2 Casos d'estudi

Van ser examinats tres casos. El primer cas es correspon a un llit uniforme i llis d'acer. El segon cas, el matalàs de gabions flexibles es va col·locar sobre una base de grava solta (de diàmetre aproximat de 50mm). Ambdós casos es van examinar amb cabal o simplement inundats (sense flux dinàmic). La tensió es va augmentar de forma gradual afegint pesos a la palanca fins a identificar l'inici del moviment. En el tercer cas, el matalàs de gabions flexibles es va col·locar sobre un pendent de 1:2.

Taula 1 Casos d'estudi examinats durant l'experiment

LC 1^a	Gabió col·locat sobre llit del canal llis. Cabal generat amb velocitat aproximada de 2m/s. Tensió extra aplicada mitjançant pesos fins a l'inici del moviment.
LC 1b	Gabió col·locat sobre el llit del canal llis. Tensió extra aplicada mitjançant pesos fins a l'inici del moviment. Inundació dels gabions, sense flux dinàmic (Q=0).
LC 2a	Gabió col·locat sobre llit de material solt format per graves soltes (diàmetre aproximat de 50mm). Cabal generat amb velocitat aproximada de 2m/s. Tensió extra aplicada mitjançant pesos fins a l'inici del moviment.
LC 2b	Gabió col·locat sobre llit de material solt format per graves soltes (diàmetre aproximat de 50mm). Tensió extra aplicada mitjançant pesos fins a l'inici del moviment. Inundació dels gabions, sense flux dinàmic (Q=0).
LC 3	Gabió col·locat sobre llit amb pendent de 1:2. Els gabions es col·loquen de manera horitzontal. No s'apliquen forces externes.

2.3 Metodologia experimental

La prova per a cada cas d'estudi (amb flux) es va realitzar incrementant el rang de flux fins a assolir el valor màxim de 155 l/s. El calat en el sobreexidor és de 21 cm, obtenint una velocitat de 2m/s en l'inici de la zona de gabions. Aquesta condició es monitoritza i filma per a un màxim de 30 minuts. Després, s'usa el sistema de palanca per aplicar una força als gabions amb un pes determinat, a partir de l'addició de pesos individuals de forma gradual. Els pesos es van anar afegint de manera que es reduïa el pes a mesura que s'acostava al límit de moviment, el que va permetre una determinació relativament exacta de l'inici del lliscament i per tant, del moviment. La inundació sobre els gabions va ser aproximadament de 10cm. Les proves per als casos b es van realitzar sota les mateixes condicions, però sense flux. Els gabions es trobaven totalment inundats.

3 Resum dels resultats experimentals

La tensió aplicada τ_f es determina com el quocient entre la força activa introduïda just en el moment que s'inicia el moviment i l'àrea del matalàs

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

La tensió crítica τ_c es calcula com la suma de la tensió aplicada i la tensió de fons produïda pel flux.

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

No s'han observat desplaçaments de les graves durant el procés de flux hidràulic. El pes dels gabions es determina a partir dels següents valors teòrics:

Taula 2 Pes dels gabions flexibles laminars

Gabió flexible	1	2	3	Total
Pes (Kg)	53	55	54	162
Pes sumergit (Kg)	32	34	33	99

Taula 3 Resum de les tensions obtingudes per a cada cas d'estudi

	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 Discussió dels resultats experimentals

Es constata el fet que els resultats varien significativament quan el llit on es recolza el matalàs de gabions flexibles està format per graves. Aquestes variacions s'expliquen per la diferent interacció amb l'estrat inferior que dota estabilitat al conjunt. Les proves en aquest estudi s'han realitzat amb una tensió associada a una àrea de $A=0.8\text{m}\times 0.9\text{m}=0.72\text{m}^2$.

La interacció amb el substrat és un efecte que depèn de l'angle de fricció intern φ entre els gabions i el substrat. La tensió norma horitzontal σ del llit es determina com el pes submergit F_g de les graves en relació a l'àrea de càrrega A . La tensió crítica τ_c , e.g en assaigs de tracció, pot expressar com:

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

Per tant, usant els mesuraments sense flux, l'angle de fricció interna pot expressar-se com:

Substrat metàl·lic

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

Substrat de graves

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

Si els gabions es disposen en un pendent, la normal del pes decreix a mesura que augmenta l'angle i per tant, la pròpia resistència disminueix enfront de les forces tangencials.

La tensió crítica transversal al pendent és

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

La tensió crítica en direcció al pendent es determina com

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

Per tant, el matalàs format pels gabions flexibles llisca pel pendent quan l'angle β és superior o igual a l'angle de repòs φ (angle de fricció interna).

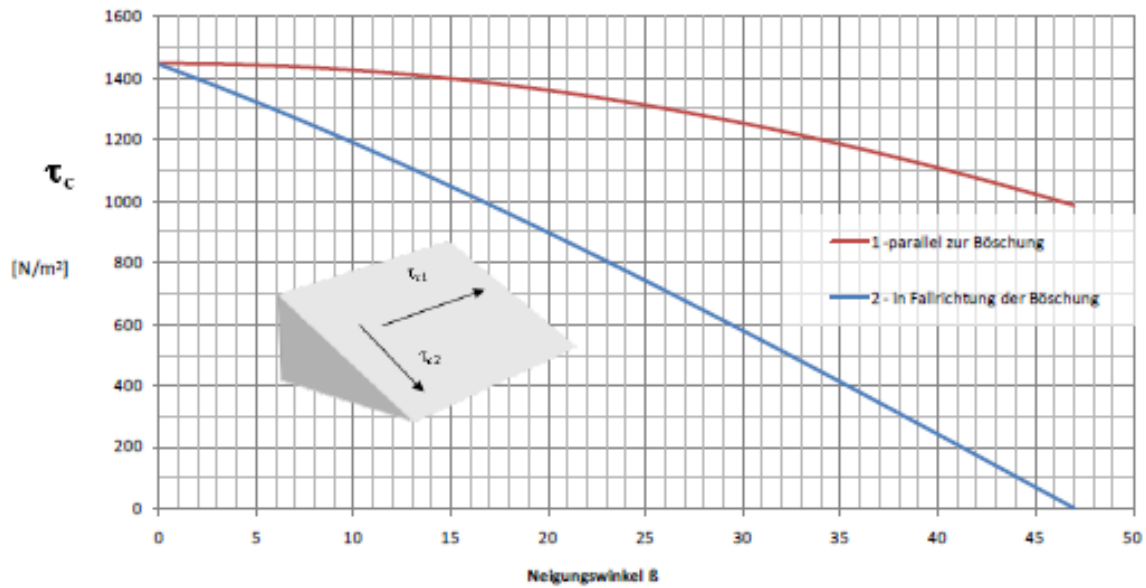


Figura 7. Càlcul teòric de la tensió crítica usant un angle de fricció de 47°.

Durant el corrent o flux continu els gabions es troben sotmesos a grans variacions de velocitats (turbulències). Alhora, el flux genera forces de sustentació que fan més lleuger el gabió per un curt període de temps. A causa de la interacció de la grava amb els gabions aquesta tensió és eliminada en un alt grau. És impossible que les graves, de forma individual, es desplacin.

La relació entre la velocitat i la tensió tangencial sobre els gabions es pot calcular per la següent relació, a partir de la velocitat base del canal

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

El coeficient de fricció λ depèn del contacte de l'àrea superficial entre el flux i els gabions i la velocitat per se. El coeficient s'estima a partir de les equacions de Darcy-Weisbach i Manning-Strickler, e. g. del coeficient Strickler, k_{st} usant la següent fórmula:

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

La següent gràfica il·lustra les tensions obtingudes en funció de k_{st} , amb un radi hidràulic (r_{hy}) d'aproximadament 0.08m (condicions de laboratori). Aquesta formulació no és vàlida per calcular les variacions de velocitat a causa de les turbulències i les forces de sustentació.

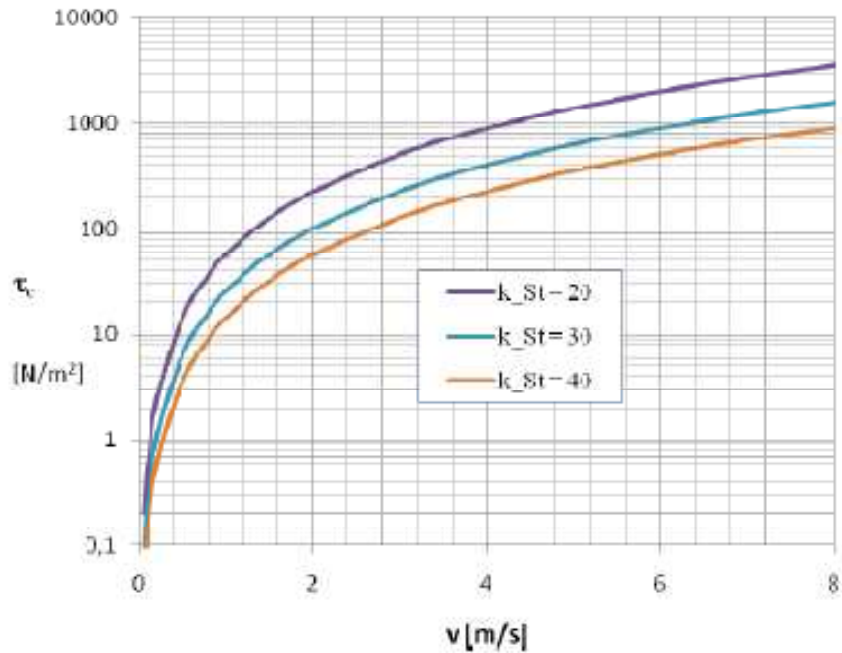


Figura 8. Càlcul teòric de la tensió en funció del coeficient Manning-Strickler per un radi hidràulic de 0.08m

Si s'estima la rugositat del gabió flexible amb un valor de $k_{st} = 20 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$, la tensió resultant és de 230 N/m² aproximadament, per una velocitat de 2 m/s en el model.

D'acord amb això, els gabions flexibles sobre el llit de grava suporten tensions des de 1205.6 N/m² fins 1711 N/m², equivalents a velocitats de 4,5 m/s a 5,48 m/s. Cal admetre que els resultats de velocitat, sota condicions reals, variaran de forma considerable donat el caràcter turbulent del flux.

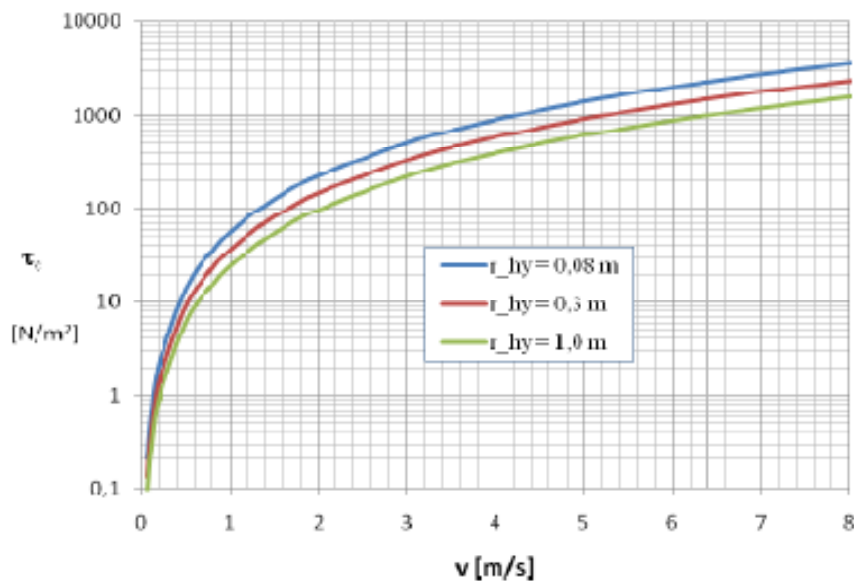


Figura 8. Càlcul teòric de la tensió en funció del radi hidràulic per un coeficient Manning-Strickler de $20 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$

5 Notes sobre l'experiment

Les dades obtingudes en l'experiment són vàlides sota condicions de laboratori. Tanmateix, els gabions flexibles, disposats com un matalàs a la llera d'un riu, poden assemblar-se en un alt grau a una escullera o escullera lligada amb formigó en termes de comportament. Aquest fet es corrobora amb les nombroses experiències en casos reals.

Cal indicar, com a regla general, la necessitat de verificar la seva utilització en cada cas concret. La dinàmica fluvial difereix substancialment per a cada riu, de manera que, si bé el matalàs de gabions flexibles és una solució amb una gran resistència (demostrat en el present informe), el coneixement precís de la morfodinàmica, l'estat d'equilibri així com la presència de diferents fenòmens erosius, són essencials perquè la seva aplicació sigui correcta, efectiva i duradora.