

DISS ETH No. 21566

UNSTRUCTURED BLOCK RAMPS

A thesis submitted to attain the degree of
DOCTOR OF SCIENCES of ETH ZURICH
(Dr. sc. ETH Zurich)

presented by
SIMONA TAMAGNI
Dipl.-Ing. ETH

born on 07.02.1982

citizen of St. Antonio (CH)

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Robert M. Boes, examiner
Prof. Dr. Stefano Pagliara, co-examiner
Dr. Gian Reto Bezzola, co-examiner
Dr. Volker Weitbrecht, co-examiner

2013

Abstract

Unstructured Block Ramps (UBR) are river engineering structures used to stabilize the river bed against erosion. They represent an alternative to drops and sills offering better ecological conditions particularly in terms of fish migration. The experience with such structures is limited to the past two decades. During the last flood events in Switzerland, many UBR failed, demonstrating that the design was not sufficient. Most design criteria relate to other types of block ramps, in particular to ramps of block carpet type or to structured block ramps.

Physical model tests were conducted at VAW to investigate the ramp stability and the ramp behaviour in case of flood scenarios including the overload case. Different parameter combinations were tested to find an optimal combination in terms of ramp stability. The effects of: (1) ratio between block diameter and characteristic grain size of the sediment material, (2) block placement density, (3) sediment supply and (4) uniformity of the grain size distribution were tested under steady discharge conditions. Furthermore, the overall behaviour was tested by including an erodible downstream reach and by investigating the effect of quasi-steady discharge conditions representing typical flood hydrographs.

A more fundamental part of the study involved 2D Laser Doppler Anemometry (LDA) measurements to determine the hydraulics and the turbulence occurring on heterogeneous rough bed with macro-roughness elements, as for UBR. The local flow conditions were described with local time-averaged quantities, particularly to study the migration possibilities within the UBR. The general flow conditions were characterized with double-averaged quantities, which are decisive for the determination of the flow resistance.

Together with the Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag) field tests were carried out. Fish migration was tested in the field at two different UBR using Passive Integrated Transponders (PIT) tags combined with an antenna to detect the fish passage.

A main result of the present research is a model for the determination of the ramp stability which can be applied for design purposes. The velocity measurements can be used to rate UBR in terms of fish migration and to calibrate numerical models.

Zusammenfassung

Unstrukturierte Blockrampen sind Flussbauwerke, die der Stabilisierung der Flusssohle und dem Schutz gegen Erosion dienen. Sie stellen eine ökologisch vorteilhafte Alternative zu Abstürzen und Schwellen dar, insbesondere bezüglich der Fischwanderung. Die Erfahrung mit solchen Bauwerken ist begrenzt auf die letzten Jahrzehnte. Während der letzten Hochwasserereignisse in der Schweiz versagten mehrere unstrukturierte Blockrampen. Es zeigte sich, dass die Dimensionierung dieser Rampen nicht ausreichend war. Die bestehenden Dimensionierungsgrundlagen beziehen sich besonders auf andere Blockrampentypen, die klassischen oder strukturierten Blockrampen.

An der VAW wurden physikalische Modellversuche durchgeführt, um die Stabilität und das Verhalten von unstrukturierten Blockrampen im Hochwasser- und im Überlastfall zu untersuchen. Unterschiedliche Parameterkombinationen wurden getestet, um eine optimale Kombination hinsichtlich der Rampenstabilität zu finden. Der Einfluss: (1) des Verhältnisses zwischen Blockdurchmesser und charakteristischem Korndurchmesser des Sedimentmaterials, (2) der Belegungsdichte der Blöcke, (3) der Geschiebezugabe, und (4) der Form der Kornverteilungskurve wurde für stationäre Abflussbedingungen untersucht. Zudem wurde das Gesamtverhalten der Rampe getestet, indem eine erodierbare Strecke flussabwärts der Rampe installiert und der Einfluss von quasi-stationären Abflussbedingungen untersucht wurde, die typische Hochwasserganglinien repräsentieren.

Ein Teilprojekt beinhaltete detaillierte 2D *Laser Doppler Anemometer* (LDA) Messungen zur Bestimmung der Fliesscharakteristik, die in solch heterogenen rauen Sohlen mit Makrorauheiten auftritt. Die lokalen Strömungsverhältnisse wurden mit lokalen zeitlich-gemittelten Parametern beschrieben, um insbesondere die Wandermöglichkeiten für Fische innerhalb der unstrukturierten Blockrampen zu untersuchen. Die allgemeinen Strömungsverhältnisse wurden durch doppelt-gemittelte (zeitlich und räumlich) Parameter beschrieben, die für die Bestimmung des Fliesswiderstands massgebend sind.

In Zusammenarbeit mit der Eidgenössischen Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (Eawag) wurden Feldversuche durchgeführt. Die Fischwanderung wurde im Prototyp an zwei unstrukturierten Blockrampen getestet.

Dabei wurden *Passive Integrated Transponder* (PIT) tags (passive Mikrochips) zusammen mit einer Antenne verwendet, um den Fischdurchgang zu detektieren.

Ein Hauptergebnis dieses Forschungsprojektes ist ein Modell zur Bestimmung der Stabilität von unstrukturierten Blockrampen, der für die Dimensionierung verwendet werden kann. Die detaillierten 2D LDA-Geschwindigkeitsmessungen können zudem dazu dienen, die ökologische Effizienz hinsichtlich der Fischwanderung solcher Rampen zu beurteilen oder numerische Modelle zu kalibrieren.

Sommaio

Le rampe in pietrame sciolto non strutturato sono opere di ingegneria fluviale che permettono di stabilizzare l'alveo e di proteggerlo da erosione. Rappresentano un'alternativa più ecologica alle opere di caduta in particolare riguardo alla migrazione dei pesci. L'esperienza con il dimensionamento di queste opere è limitata agli ultimi due decenni. Gli ultimi eventi di piena hanno causato la rottura di diverse rampe in pietrame sciolto indicandone il dimensionamento non sufficiente per il carico di piena. La maggior parte dei criteri di dimensionamento si riferisce ad altri tipi di rampe, in particolare a quelle classiche, dove il pietrame ricopre alveo sull'intera larghezza, oppure a quelle in pietrame sciolto ma strutturato.

Delle prove su modello sono state condotte per studiare la stabilità di questo tipo di rampe come pure il loro comportamento in caso di carichi elevati e di sovraccarico. Diversi parametri sono stati testati al fine di ottenere una combinazione ottimale riguardante la stabilità della rampa. L'influenza di: (1) rapporto fra il diametro dei blocchi e la dimensione caratteristica dei grani del materiale di fondo, (2) densità di occupazione dei blocchi, (3) apporto di materiale per il trasporto solido, (4) uniformità della distribuzione granulometrica del materiale di fondo è stata testata in condizioni di deflusso stazionario. Inoltre il comportamento globale della rampa è stato studiato aggiungendo un settore a materiale mobile ed erodibile a valle della rampa e investigando gli effetti di condizioni di deflusso quasi-stazionarie rappresentate da un idrogramma per un tipico evento di piena.

Una parte dello studio è stata dedicata alla ricerca fondamentale, dove delle misurazioni eseguite con la velocimetria laser Doppler in 2D hanno permesso di determinare l'idraulica e la turbolenza che si manifestano su superfici eterogenee e rugose con delle macro rugosità, come nel caso delle rampe in pietrame sciolto non strutturato. Le condizioni di deflusso locali sono state descritte tramite parametri di medie temporali, in modo da poter in particolare studiare le possibilità di migrazione per i pesci all'interno delle rampe in questione. Le condizioni di deflusso generali, invece, vengono caratterizzate tramite parametri di medie doppie (cioè temporali e spaziali), che sono determinanti per definire la resistenza del flusso.

Uno dei maggiori risultati di questa ricerca è il modello per la determinazione della stabilità delle rampe in pietrame sciolto non strutturato, il quale può essere utilizzato

per il dimensionamento di tali opere. Le misurazioni della velocità possono essere utilizzate per valutare tali rampe dal punto di vista della migrazione dei pesci e per calibrare dei modelli numerici.