

## Jinping II: Gripper-TBM für Wasserkraftwerk

Dr. Karin Böppler

In der Provinz Sichuan, Zentral-China, entsteht das Wasserkraftwerk Jinping II, das bei Fertigstellung bis zu 4800 MW Leistung bereitstellen soll. 4 Druckwasserstollen führen durch Gestein hoher Festigkeiten bei hohen Überdeckungen. Der Tunnelvortrieb erfolgt sowohl maschinell als auch konventionell per „Drill and Blast“.

In der chinesischen Provinz Sichuan werden derzeit an einem der Hauptzuflüsse des Oberlaufs des Jangtse, dem Yalong-Fluss, die beiden Kraftwerksstufen Jinping I und Jinping II gebaut. Auftraggeber des Bauvorhabens ist die Ertan Hydropower Development Co. (EHDC). Das Kraftwerk Jinping II am Unterlauf des Flusses verfügt über eine geplante Kapazität von insgesamt 4800 MW und damit über die höchste Kapazität der insgesamt 5 Wasserkraftwerke am Yalong.

Jinping II ist Teil des Plans, die Kapazitäten zur Energieerzeugung in West- und Zentral-China zu nutzen, um den in den vergangenen Jahren stark gestiegenen Bedarf im wirtschaftlich starken Osten des Landes zu decken. Das Kraftwerk wird außerdem dazu beitragen, die Energieversorgung in den Provinzen Sichuan und Chongqing sicherzustellen.

Die Trasse der 4 Freispiegelstollen mit einem Ausbruchdurchmesser von 12,4 m wurde so geplant, dass sie eine 150 km

Dr. Karin Böppler, Geotechnics & Consulting, Herrenknecht AG, Schwanau/D

lange Schlaufe im Yalong-Fluss kurzschließen werden und der Höhenunterschied zwischen den Armen der Flussschlaufe zur Stromproduktion genutzt werden kann. Die Fallhöhe des Kraftwerks beträgt 318 m.

Bei 2 der Druckstollen kommt maschinelle Tunnelvortriebstechnik zum Einsatz und 2 Tunnel werden per „Drill and Blast“ erstellt. Der Druckstollen Nr. 1 wird aktuell mit einer von Robbins gelieferten Main Beam TBM gebohrt. Für den Druckstollen Nr. 3 für das Projekt Jinping II kommt eine Gripper-TBM von Herrenknecht zum Einsatz. Beide TBM haben einen Bohrdurchmesser von 12,4 m.

Die Gripper-TBM S-405 von Herrenknecht mit Nachläufer für den Druckstollen Nr. 3 wurde von der Ertan Hydropower Development Co Ltd. (EHDC) beauftragt und wird von einem Joint Venture der China Railway 13th Bureau Group Co., Ltd. und der Beijing Vibroflotation Engineering Co., Ltd. eingesetzt. Diese Gripper-Maschine für den Druckstollen Nr. 3 steht im Fokus der folgenden Beschreibung (Bild 1).

Im Gebiet sind bereits ein „Straßenzugangstunnel“ und

## Jinping II: Gripper TBM for Hydro-Power Plant

Dr. Karin Böppler

The Jinping II is being built in Sichuan Province in Central China. It is intended to generate 4,800 MW upon completion. Four water diversion tunnels lead through high-strength rock with high overburdens. Tunnelling is carried out both by mechanised means as well as drill+blast.

At present the 2 power plant stages Jinping I and Jinping II are being constructed on the Yalong River, one of the main tributaries on the upper reaches of the Yangtze, in the Chinese province of Sichuan. The project has been commissioned by the Ertan Hydropower Development Co. (EHDC). It is planned that the Jinping II on the lower reaches of the river will generate a total of 4,800 MW thus making it the hydropower plant with the highest capacity among the 5 along the Yalong.

Jinping II represents part of a scheme to exploit capacities for producing power in West and Central China in order to cover the increasing demand that has risen in recent years in the economically strong eastern part of the country. The power plant will also enable to help meet energy requirements in Sichuan and Chongqing provinces.

The route of the 4 water diversion tunnels with an excavated diameter of 12.4 m was planned in such a way that they take advantage of a 150 km long bend in the Yalong River in order to exploit the difference in height between the arms of the loop to generate energy. The

power plant's height of fall amounts to 318 m.

Two of these water diversion tunnels are being driven by mechanised tunnelling and 2 via drill+blast. Currently diversion tunnel No. 1 is being bored by a Main Beam TBM supplied by Robbins. A Herrenknecht Gripper TBM is in action for diversion tunnel No. 3 for the Jinping II project. Both TBMs possess 12.4 m bore diameter.

The Gripper TBM S-405 from Herrenknecht complete with trailers for diversion tunnel No. 3 was commissioned by the Ertan Hydropower Development Co. Ltd. (EGDC) and is being employed by a Joint Venture constituting the China Railway 13th Bureau Group Ltd. and the Beijing Vibroflotation Engineering Co. Ltd. This Gripper machine for diversion tunnel No. 3 is focused on in this report (Fig. 1).

In the area a "road access tunnel" and a 5 km long exploratory tunnel have been produced. The geological-geotechnical data obtained in the

Dr. Karin Böppler, Geotechnics & Consulting, Herrenknecht AG, Schwanau/D

ein 5 km langer Sondierstollen erstellt worden. Die geologisch-geotechnischen Informationen im Projektgebiet basieren vorwiegend auf Oberflächenkartierungen sowie den Erfahrungen bei den Sprengvortriebsarbeiten der bestehenden Tunnel.

### Geologische Situation

Die Trasse im Projektgebiet des Wasserkraftwerks Jinping II verläuft auf einer Höhe von 1600 m üNN und ihre Länge beträgt 16 km bei Überdeckungen zwischen 1270 m und 2525 m. Die Geologie entlang des zu bohrenden Tunnels durch die Jinping-Gebirgskette – mit Höhen von bis zu 4300 m – besteht vorwiegend aus mittel- bis dickbankigem Kalkmarmor sowie dünn- bis mittelbankigem Marmor mit Druckfestigkeiten



1 Die größte Gripper-TBM der Herrenknecht AG: S-405 mit einem Durchmesser von 12,40 m

1 The largest Gripper TBM produced by the Herrenknecht AG: S-405 with 12.40 m diameter

von bis zu 150 MPa. In massigem Marmor wurde in Referenzprojekten ab einer Fels-

project zone are mainly based on surface charts as well as findings received from the drill+blast

operations carried out for the existing tunnels.

### Geological Situation

The route in the project zone for the Jinping II hydropower station runs at a height of 1,600 m ASL and is 16 km long given overburdens ranging from 1,270 to 2,525 m. The geology along the tunnel to be produced through the Jinping range of mountains – with heights of up to 4,300 m – mainly consists of medium to thick beds of lime marble with compressive strengths extending up to 150 MPa. Rock bursts were observed in the massive marble in reference projects as from approx. 1,700 m overburden. In the case of the TBM drive these phenomena can be reckoned with even given shallower over-

überdeckung von ca. 1700 m Bergschlag beobachtet. Beim TBM-Vortrieb ist mit diesen Phänomenen bereits bei geringeren Überlagerungen in den massigen, grobgebankten Kalen zu rechnen, dazu mit massiven Wasserzutritten. Im Verlauf des bisherigen Gripper-Vortriebs in Jinping kam es nur vor dem Bohrkopf zu Gebirgsentspannungen. Zu Bergschlag und hohen Wasserzutritten kam es bisher nicht.

Aufgrund der hohen Gebirgsüberlagerung muss über einen sehr großen Anteil des Tunnels mit einer instabilen Ortsbrust infolge von Spannungumlagerungen, d. h. einem Ausknicken von mächtigen Schichtpaketen, gerechnet werden. Dies wird durch die steil stehende Bankung des Marmors gefördert. Darüber hinaus muss aufgrund des vorwiegend anstehenden kalkhaltigen Gesteins mit Verkarstungen mit hohen Wasserzutritten gerechnet werden. Der Karst scheint dabei meist an Risskarst-Systeme gebunden zu sein.

Die geologisch-geotechnisch prognostizierten Baugrundverhältnisse für den maschinellen Tunnelvortrieb im Projekt Jinping sind als sehr komplex zu beschreiben. Die ingenieurwissenschaftlichen Herausforderungen sind der hohe in-situ Gebirgsdruck, Bergschlag, Karstvorkommen, hohe Wasserzutritte, hohe Temperaturen sowie gefährliche, weil giftige Gase (Schwefelwasserstoff  $H_2S$ ). Diese Bedingungen waren Grundlage für die Auslegung und das Design der im Einsatz befindlichen Hartgestein-TBM. Dabei bestimmen im Wesentlichen das Risiko von Bergschlägen sowie hohe erwartete Wasserzutritte das Design des Bohrkopfes.

### Eingesetzte Maschinenteknik

Die für den 16 km langen Beileitstollen eingesetzte TBM

entspricht dem neuesten Stand der maschinellen Tunnelvortriebstechnik im Hartgestein und wurde gezielt auf die Anforderungen des Projektes Jinping abgestimmt (Bild 2). Der Hartgesteinsbohrkopf der S-405 hat einen Durchmesser von 12,44 m und ist mit 19-Zoll-Schneidrollen bestückt (73 Einringschneidrollen und 4 Zweiringschneidrollen). Der Bohrkopf hat 12 Materialeinlassöffnungen im Außenbereich und 4 im Zentrumbereich.

Das Schneidrad mit Drehzahlen von bis zu 5 Umdrehungen pro Minute ist mit einer Antriebsleistung von 4900 kW ausgerüstet. Das Drehmoment beträgt 19750 kNm und die Vortriebskraft liegt bei 39584 kN. Das Schneidrad besteht aus einem Zentrum und 4 Außensegmenten. Um auf

burden in the massive, thick-bedded limes, where there is also ingressing water. So far during the Gripper TBM drive in Jinping rock destressing has only occurred in front of the cutterhead. Up till now there have not been rock bursts or cases of ingressing water.

On account of the high rock overburden an unstable face has to be reckoned with over an extremely large part of the tunnel owing to stress redistribution, i.e. the collapsing of dense sequences of bedding. This is encouraged by the upright structure of the marble. Furthermore karstification with a high incidence of water has to be reckoned with on account of the largely limey rock that prevails. In this connection the karst mostly appears to be associated with fissured crack systems.

The geological-geotechnical subsoil conditions for the mechanised drive that were forecast for the Jinping project are very complex to describe. The engineering challenges relate to the high in situ rock pressure, rock bursts, karst deposits, high water inbursts, high temperatures as well as dangerous gases, which are toxic (hydrogen sulphide  $H_2S$ ). These conditions formed the basis for the dimensioning and design of the hard rock TBM that is being used. The cutterhead design was primarily governed by the risk of rock bursts as well as the high amount of ingressing water that was expected.

### Applied Engineering

The TBM applied for the 16 km long water diversion tunnel corresponds to the latest state of the art for mechanised tunnelling technology in hard rock and was targeted for the requirements posed by the Jinping project (Fig. 2). The hard rock cutterhead of the S-405 possesses a diameter of 12.44 m and is fitted with 19" roller cutters (73 single-ring roller cutters and 4 two-ring roller cutters). The cutterhead has 12 openings for material in its outer area and 4 in its central area.

The cutter wheel with speeds of up to 5 rpm is provided with 4,900 kW driving output. The torque amounts to 19,750 kNm and the thrusting force is 39,584 kN. The cutter wheel consists of a central segment and 4 outer ones. In order to be able to react to possible convergences, overcutting at the cutter wheel is possible through shifting the roller cutters.

Stress redistributions in the rock can lead to an unstable face. In this connection systematic crumbling of the face is to be reckoned with. These findings were obtained both at the



2 Werksmontage der S-405

2 Factory assembly of the S-405

mögliche Konvergenzen reagieren zu können, ist ein Überschnitt am Schneidrad durch „shiften“ (verschieben) der Schneidrollen möglich.

Spannungsumlagerungen im Gestein können zu einer instabilen Ortsbrust führen. Hierbei ist mit einem systematischen Vorbrechen der Tunnelbrust zu rechnen. Diese Erfahrungen wurden bei den Projekten Lötschberg- sowie Gotthard-Basistunnel (Lose Amsteg und Bodio) in der Schweiz gemacht. Das Schneidraddesign im Projekt Jinping ist auf derartige Verhältnisse angepasst. Sehr große und massive Gesteinsblöcke können durch den Bohrkopf, d. h. durch Schneidrollen, Abweiskeile, Räumer und deren Stege in den Öffnungen, gebrochen werden. Im Vergleich zu

den genannten Schweizer Projekten ist das im Projekt Jinping anstehende Gestein jedoch weniger hart und abrasiv.

Für den Fall, dass von der Ortsbrust große Mengen Wasser zutreten, müssen die Räumerkanäle des Bohrkopfes so ausgelegt sein, dass das Wasser möglichst kontrolliert abgeschieden werden kann, d. h. vom abgebauten Gestein getrennt werden kann. Lochbleche in den Räumerkanälen erfüllen diese Funktion. An der Bohrkopfrückseite befinden sich zudem Öffnungen zum Wasserauslass. Beide Konstruktionen sollen das wassergesättigte Abbaumaterial dränieren, bevor es auf den Muckring fällt. Das Wasser wird im Sohlbereich des Bohrkopfes und anschließend entlang der Sohlsegmente im



3 Große Andrehfeier auf der Baustelle Jinping II

3 Grand starting-up celebration at the Jinping II construction site

Lötschberg as well as Gotthard Base Tunnels (Amsteg and Bodio contract sections) in Switzerland. The cutting wheel design for the Jinping project has been adapted to such conditions. Very big and massive

blocks of rock can be broken by the cutterhead, i.e. by the roller cutters, diverters, buckets and spokes in the openings. However, compared to the Swiss projects just mentioned the rock to be found in the

Bereich der TBM abgeleitet. Der Nachläufer wurde so konstruiert, dass seine Unterkante einen Abstand von 1,68 m über der Tunnelsohle hat. Die Hartgesteinsmaschine ist mit 3 großen Entwässerungspumpen mit Kapazitäten von je 300 m<sup>3</sup>/h ausgestattet, die die Schieneninstallation trocken halten sollen.

Je 2 Bohrgeräte für Anker- und Schirmbohrungen sind im L1- und L2-Bereich der Maschine angeordnet. 2 Doppelbohrkopfgeräte sind im L2-Bereich der TBM über und unter dem Maschinenrahmen installiert. Mit ihnen ist es möglich, Probebohrungen durchzuführen. Der Spritzbeton für die letzte Tunnelsicherung wird mithilfe eines automatischen Spritzbetonroboters auf der Brückenkonstruktion des Nach-

läufers und dem 5. Nachläufer aufgebracht.

Das an der Ortsbrust abgebaute Material wird kontinuierlich über ein Maschinenband mit anschließendem Tunnelband bis zum Tunnelportal transportiert. Die Förderbandkapazität ist der maximalen Vortriebsgeschwindigkeit angepasst. Ein Steuerungssystem der VMT GmbH ist auf der TBM installiert.

Die Gripper-TBM von Herrenknecht mit einem Durchmesser von 12,4 m für den ca. 16 km langen Beileitstollen des Wasserkraftwerks Jinping II ist seit Mitte November 2008 im Betrieb (Bild 3). Die regulären Arbeitszeiten betragen 7 Tage pro Woche bei einem Arbeitstag von 11 Stunden. Bis Anfang September 2009 hat die Vortriebsanlage 1724 m gebohrt und gesichert.

Die bisher beste Tagesleistung wurde am 20. Juli 2009 mit 30 m Vortrieb erreicht.

## Ausblick

Mit einem Durchmesser von 12,40 m ist die S-405 für das Projekt Jinping II die größte Gripper-TBM, die Herrenknecht je geliefert hat. Sie ist ausgelegt, die besonderen Herausforderungen des Projekts bestmöglich zu beherrschen: Spannungsumlagerungen im Gestein, hohe Gebirgsüberlagerung sowie das Risiko sehr hoher Wasserzutritte. Mit der Fertigstellung der Großprojektes Jinping II und der Inbetriebnahme des Kraftwerks wird die Möglichkeit bestehen, einen Teil des chinesischen Wirtschaftswachstums mit umweltfreundlicher Wasserkraft zu versorgen. 

Jinping project is not quite so hard or abrasive.

For the event that large quantities of water emerge from the face the cutterhead's bucket channels must be designed in such a manner that the water can be disposed of in a controlled as possible fashion, i.e. that it can be separated from the removed rock. Perforated plates in the bucket channels fulfil this task. Furthermore there are openings on the rear side of the cutterhead to allow water to escape. Both structures are intended to drain the water-saturated material prior to it dropping on to the muck ring. The water is then diverted to the cutterhead's base area and then along the floor segments in the TBM area. The back-up system has been devised in such a way that its lower edge lies 1.68 m above the tunnel floor. The hard rock machine is provided with 3 large drainage pumps each of 300 m<sup>3</sup>/h capacity, which are intended to keep the trackbound installation dry.

Two drilling units each for anchor and umbrella bores are arranged in the L1 and L2 zones of the machine. Two double cutterhead units are set in the TBM's L2 zone above and below the machine frame. They can be used to undertake trial bores. The shotcrete for the final tunnel support is installed with the aid of an automatic spraying robot assembled on the trailer's bridge structure and the 5th trailer.

The material removed at the face is continuously transported via a machine belt and subsequently with a tunnel conveyor or belt to the tunnel portal. The capacity of the conveyor belt is geared to the maximum rate of advance. A VTM GmbH control system is installed on the TBM.

Herrenknecht's Gripper TBM with 12.4 m diameter for the roughly 16 km long water diversion tunnel for the Jinping II hydropower plant has been functioning since mid-November 2008 (Fig. 3). Regular working times amount to 7 days per week with 11 hours worked per day. By the start of September 2009 the tunnelling machine had bored and secured 1,724 m. The best daily rate of 30 m was achieved on July 20th, 2009.

## Outlook

With 12.40 m diameter the S-405 for the Jinping II project is the biggest Gripper TBM that Herrenknecht has ever supplied. It is devised to master the special challenges of the project as capably as possible: stress redistributions in the rock, high rock overburden as well as the risk of extremely high inflows of water. With the completion of the Jinping II major project and the opening of the power plant a further opportunity will arise for providing a part of the Chinese economic explosion with environmentally-friendly hydropower. 