

# Projekt Wanjiazhai u kineskoj pokrajini Shanxi, 1.dionica

Davorin Kolić, Yun Bai

## Ključne riječi

Projekt Shanxi  
Wanjiazhai Yellow River  
Diversion,  
NR Kina,  
prva dionica,  
Žuta rijeka

## Key words

Shanxi Wanjiazhai Yellow  
River Diversion Project,  
People's Republic of  
China,  
lot I,  
Yellow River

## Mots clés

Projet de dérivation du  
Fleuve Jaune en Shanxi  
Wanjiazhai,  
République populaire de  
Chine,  
tronçon I,  
Fleuve Jaune

## Ключевые слова

Проект «Shanxi  
Wanjiazhai Yellow River  
Diversion»,  
Китайская Народная  
Республика,  
первый участок,  
Хуанхэ река

## Schlüsselworte

Projekt Shanxi  
Wanjiazhai Yellow River  
Diversion,  
VR China, erste  
Teilstrecke,  
Gelber Fluss

D. Kolić, Y. Bai

Stručni rad

## Projekt Wanjiazhai u kineskoj pokrajini Shanxi, 1.dionica

Opisuje se realizacija prve dionice Projekta Shanxi Wanjiazhai Yellow River Diversion (SWYRD) koji se nalazi u provinciji Shanxi u NR Kini. Ta se dionica sastoji od dvije podzemne prepumpne stanice s brojnim podzemnim prostorijama povezanih tunelima sa Žutom rijekom i ostalim dijelovima projekta. Radi se o jednoj od najvećih podzemnih gradnji u svijetu. Opisan je projekt i postupak izvedbe ovog iznimno složenog graditeljskog pothvata u potpunosti podzemnog skretanja Žute rijeke.

D. Kolić, Y. Bai

Professional paper

## Wanjiazhai Project in the Chinese province of Shanxi, Lot 1

The realization of the first lot of the Shanxi Wanjiazhai Yellow River Diversion (SWYRD) project, located in the Shanxi Province in the People's Republic of China, is described. The lot is composed of two underground pre-pump stations with numerous underground chambers that are linked by tunnels with the Yellow River and other parts of the project. It is one of the world's biggest underground construction projects. The project and the realization of this extremely complex construction endeavour, with fully underground diversion of the Yellow River, is described.

D. Kolić, Y. Bai

Ouvrage professionnel

## Projet Wanjiazhai dans la province chinoise de Shanxi, Tronçon 1

La réalisation du premier tronçon du Projet de dérivation du Fleuve Jaune à Shanxi Wanjiazhai (SWYRD), situé dans la province de Shanxi dans la République populaire de Chine, est décrite. Ce tronçon est composé de deux stations de pre-pompage souterraines avec un nombre des chambres souterraines, reliées par tunnels avec le Fleuve Jaune et les autres parties du projet. C'est un des plus grands projets de construction souterrains dans le monde. Le projet et la réalisation de cette entreprise architecturale extrêmement complexe, avec la dérivation complètement souterraine du Fleuve Jaune, est décrit.

Д. Колич, Ю. Бай

Отраслевая работа

## Проект Wanjiazhai в китайской провинции Шаньси, первый участок

Описывается реализация первого участка проекта «Shanxi Wanjiazhai Yellow River Diversion» (SWYRD), находящегося в провинции Шаньси, в Китайской Народной Республике. В составе первого участка этого проекта - два подземные помещения насосных станций, связанные туннелями с рекой Хуанхэ и остальными частями проекта. Речь идет об одном из крупнейших в мире подземных строительстве. Приведено подробное описание проекта и процедуры выполнения первого участка этой чрезвычайно сложной строительной работы.

D. Kolić, Y. Bai

Fachbericht

## Das Projekt Wanjiazhai in der chinesischen Provinz Shanxi, I. Teilstrecke

Beschrieben ist die Realisierung der ersten Teilstrecke des Projekts Shanxi Wanjiazhai Yellow River Diversion (SWYRD) die sich in der Provinz Shanxi in der VR China befindet. Diese Teilstrecke besteht aus zwei unterirdischen Pumpstationen die durch Tunnels mit dem Gelben Fluss und den übrigen Teilen des Projekts verbunden sind. Es handelt sich um eine der Grössten unterirdischen Bauten in der Welt Man beschreibt das Projekt und das Verfahren der Ausführung dieses ausnahmsweise komplizierten Bauunternehmens, der gesamten Umleitung des Gelben Flusses.

Autori: Dr. sc. **Davorin Kolić**, dipl. ing. građ., Neuron Consult ZT, Pasching, Austrija; prof. dr. sc. **Yun Bai**, Shanghai Tunnel Engineering Corporation, Shanghai, NR China

## 1 Uvod

Pokrajina Shanxi nalazi se na sjevernom dijelu Narodne Republike Kine i ima otprilike 30 milijuna stanovnika. Naslage ugljena otkrivene u ovoj pokrajini najveće su u Kini, a sadašnje se rezerve procjenjuju na više od 203 milijarde tona. Ukupna je godišnja proizvodnja 1995. iznosila oko 340 milijuna tona, a ta se sirovina uglavnom rabi u teškoj industriji, proizvodnji aluminija (više od 50 % proizvodnje na državnoj razini), sirovog željeza (13 %), čelika i čeličnih proizvoda (7 %), cementa (3 %), s tim da taj energent pokriva i 7 % od ukupnih potreba Kine za električnom energijom. Bez obzira na takvu razinu industrijalizacije, ova pokrajina ipak pripada grupi siromašnih sjevernih pokrajina. Prema istraživanjima Državnog ureda za statistiku (1995.), prihod u seoskim sredinama među najnižima je u Kini i iznosi samo jedan američki dolar po glavi stanovnika na godinu. Takva razina siromaštva u seoskim sredinama u najvećoj je mjeri uzrokovana nedostatkom vode, što trajno usporava industrijski razvoj ove regije. Do nestašica vode dolazi u gotovo svim dijelovima ove pokrajine, a negativne su posljedice vidljive u svim sektorima ljudske aktivnosti.

Projekt skretanja Žute rijeke smješten je na sjeverozapadnom dijelu pokrajine Shanxi. To je sveobuhvatan

projekt kojim se želi riješiti pitanje nestašice vode u tri industrijska područja Kine, tj. u Taiyuanu, Pingsuou i Datongu. Projekt je obuhvaćao radove potrebne za prijenos vode iz Žute rijeke kroz složen sustav tunela, akvedukata i akumulacija. Ovaj je projekt u skladu i sa zacrtanom politikom i reformom u području ekonomskih cijena vode i prodavanja vode. Projekt skretanja sastoji se od sljedećih komponenata: glavnoga cjevovoda, južnoga cjevovoda i sjevernog cjevovoda (slika 2.).

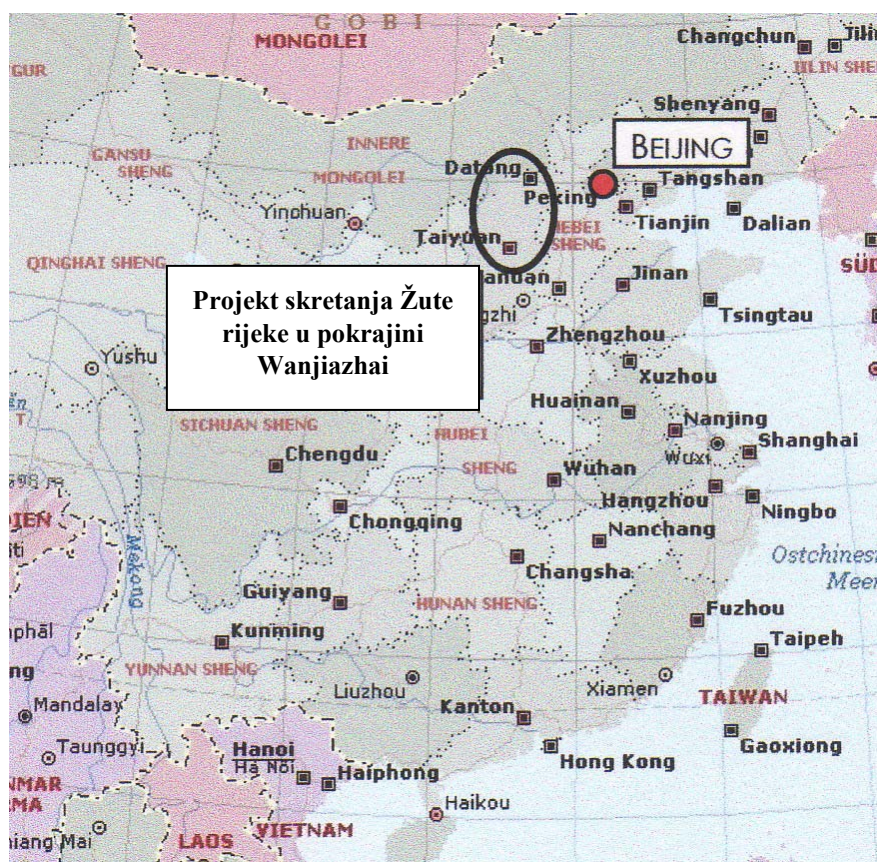
Glavni je cjevovod dug 44 km. Planirano je da se tim cjevovodom doprema 48 m<sup>3</sup>/s vode od Žute rijeke i akumulacije Wanjiashai, pa do derivacijskog kanala koji se nalazi u blizini sela Xiatuzhai. Akumulaciju je realiziralo povjerenstvo za Žutu rijeku izvođenjem brane Xiaolangdi. S obzirom na cijenu radova od 1,6 milijarda dolara, to je jedan od najvećih projekata koje je financirala Svjetska banka. Da bi voda što brže dolazila do odredišta, na trasi glavnog cjevovoda izvedene su i tri crpne stanice.

Južni cjevovod dug je otprilike 100 km, a polazi od derivacijskog kanala kod sela Xiatuzhai, odakle vodi prema jugu.

Sjeverni cjevovod također počinje kod sela Xiatuzhai, ali vodi prema sjeveru. Dugačak je 167 km, a protok vode kroz taj cjevovod iznosi 22,2 m<sup>3</sup>/s.

Na ovom su projektu ugovori o izvođenju zaključeni 1997. godine. U studenom 2001. otvorena je prva značajnija etapa: omogućen je dotok vode iz Žute rijeke do akumulacije Fenhe. Potkraj 2002. nastavlja se izvođenje cjevovoda u duljini od 100 km do Taiyuana [4].

S aspekta optimizacije crpnog sustava, projekt Wanjiashai za skretanje Žute rijeke možemo podijeliti na dva dijela. Glavni cjevovod (GM) uzima vodu iz Žute rijeke te zatim i iz uzvodne akumulacije, nakon čega se voda doprema do točke u kojoj dolazi do grananja cjevovoda. U sklopu ovog cjevovoda duljine 44 km izvedene su tri crpne stanice GM1, GM2 i GM3 (slika 3.) te akumulacija Shentongzui (SHE). Izlaz iz SHE-a ovisi o protoku. Kapacitet GM-a iznosi 4 m<sup>3</sup>/s. Južni cjevovod (SM) dugačak je

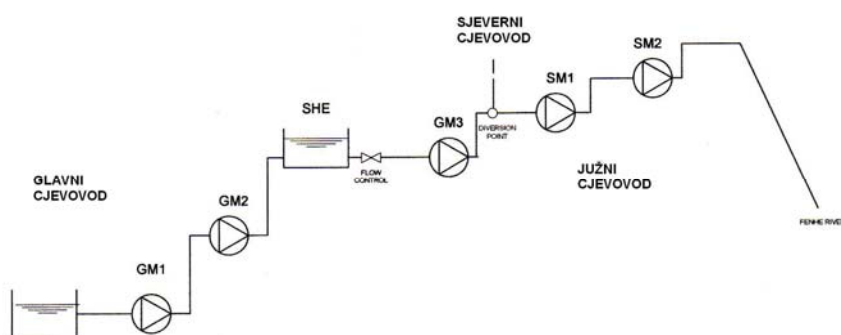


Slika 1. Lokacija projekta na karti NR Kin

102 km, a vodi od točke grananja pa sve do rijeke Fenhe. Na njemu se nalaze dvije crpne stanice (SM1 i SM2), a protok iznosi 2,2 m<sup>3</sup>/s. U projektu Wanjiashai za skretanje Žute rijeke postoji i sjeverni cjevovod (NM). Prema sadašnjem planu NM se odvaja u točki grananja (slika 3.).



Slika 2. Dijelovi projekta skretanja Žute rijeke



Slika 3. Prikaz uzdužnih crpnih dionica u projektu

## 2 Opis projekta

Ovaj je projekt jedan od najvećih graditeljskih pothvata u svijetu u području tunelogradnje. Do sada je već probijeno - ili se trenutačno probija - više od 140 km tunela.

Projekt se provodi da bi se osigurala doprema vode do dva najveća središta u pokrajini Shanxi, a to su glavni grad Taiyuan smješten u središnjem dijelu pokrajine, te industrijski grad Datong koji se nalazi na sjeveru. Voda

se doprema iz Žute rijeke koja protječe kroz sjeverozapadni dio pokrajine (slika 2.). Osnovne komponente projekta jesu:

1. Betonska derivacijska brana na Žutoj rijeci (slika 4.)
2. Sustav prijenosnih tunela i crpnih stanica sastavljen od sljedećih elemenata:
  - a) glavnih tunela (GMTL 1 do 11 - u ukupnoj duljini od 42 km) i crpne stanice (GMPS 1, 2 i 3)
  - b) južnih tunela (SMTL 1 do 7 - u ukupnoj duljini od 98 km) i crpne stanice (SMPS 1 i 2)
  - c) sjeverne glavne linije (NMTL) koja će biti izvedena u drugoj fazi projekta
  - d) "spojnih vodova" koji se sastoje od predgotovljenih betonskih cijevi (duljina: 57 km).



Slika 4. Betonska derivacijska brana na Žutoj rijeci u blizini Wanjiashajia

Kao što se vidi na slici 1., južna glavna linija i spojni vodovi čine sustav vodoopskrbe za Taiyuan na jugu, dok se opskrba do grada Datonga na sjeveru osigurava sjevernom glavnom linijom.

Poduzeće za skretanje Žute rijeke (YRDPC) zaduženo je za vođenje projekta, a poslove projektiranja obavlja Tianjinski institut za projektiranje i istraživanje (TIDI). Projekt dijelom

financira Svjetska banka, dok ostatak sredstava osigurava kineska država. Poduzeće Canada China Power Inc (CCPI) bilo je glavni konzultant zadužen za pružanje projektantskih savjetodavnih usluga YRDPC-u u okviru prve dionice. CCPI je konzorcij sastavljen od kanadskih konzultantskih poduzeća AGRA, AANC Lavalin i Acres.

Projekt je realiziran putem lokalnog natječaja (LCB) i međunarodnog natječaja (ICB), a poslovi su organizirani u pet dionica:

- prva dionica: podzemne crpne stanice 1 i 2 (GMPS 1 i 2) i tunel GMTL br. 4 (1,7 km). Izvođač: Mayreder/Alpine/STEC (austrijsko-kineska poslovna udruga) [1]
- druga i treća dionica: SMTL 4, 5, 6 i 7 (ukupno 91 km tunela bušenih metodom TMB, pri čemu unutarnji promjer tunela iznosi 4,4 m). Izvođač: Impregilo/CMC/CMC&H Bureau 4 (talijansko-kineska poslovna udruga) [6]
- četvrta i peta dionica: spojni vodovi (predgotovljena betonska cijev i bušeni tunel)

Pretpostavlja se da će čitav projekt stajati 1,5 milijarda američkih dolara, od čega će 400 milijuna osigurati Svjetska banka.



Slika 5. Pogled na Žutu rijeku i most Wanjiashai s lokacije GMPS1 nizvodno od derivacijske brane Wanjiashai

### 2.1 Idejno rješenje prve dionice: crpne stanice i tuneli

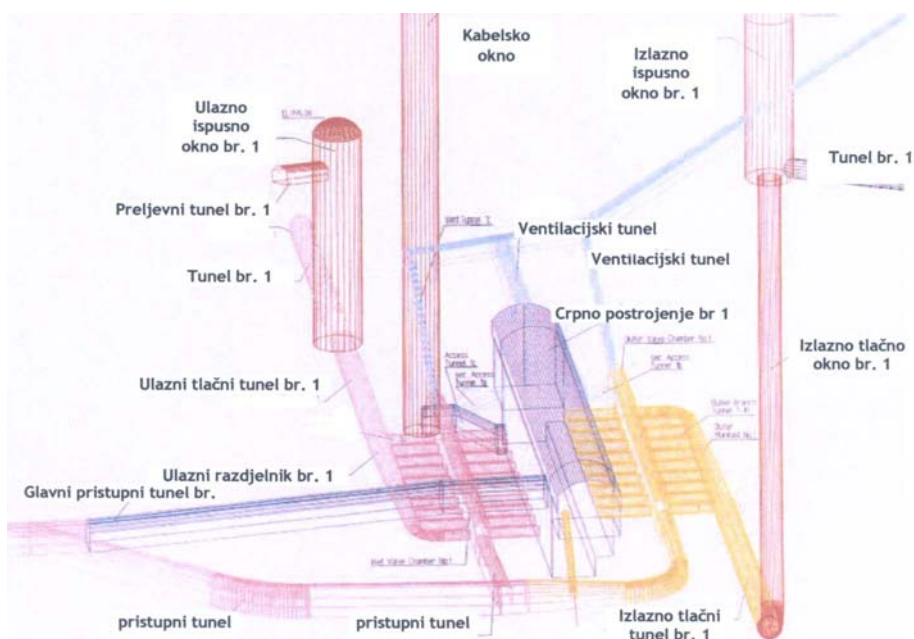
Crpne stanice na prvoj dionici (GMPS 1 i GMPS 2) riješene su na sličan način. Njihove osnovne tehničke značajke su (slika 2.) [2]:

- kaverna crpne stanice - širina  $b = 18$  m, visina  $h = 33$  m, duljina  $L = 150$  m
- deset crpnih jedinica pojedinačnog kapaciteta od po  $6,45$   $m^3/s$ ; ukupna visina dizanja je  $140$  m. Vrsta crpke: vertikalna centrifugalna, nominalna snaga motora iznosi  $12$  MW
- stijenska podgrada: luk i zidovi - mikroarmirani mlazni beton i geotehnička sidra duljine  $7$  m/ $4,5$  m
- dizalica za geotehnička sidra, kapacitet:  $50$  t
- ulazni i izlazni tuneli obloženi čeličnim limom. Promjer na ulazu  $2$  m, a promjer na izlazu  $1,8$  m
- izlazni razdjelnici i tlačni tuneli s armiranobetonskom oblogom.

- okna; kabelsko okno vanjskog promjera  $11$  m, dubine  $14$  m; ulazna i izlazna okna vanjskog promjera  $14$  m, dubine  $50$  m
- ventilacijski i pristupni tuneli
- dubina do krune crpnih postrojenja:  $130$  m (GMPS1) i  $124$  m (GMPS2).

Crpne su stanice smještene u glinastim vapnencima i dolomitima koji datiraju iz vremena ordovicija i kambrija. Uslojenost varira od tanko do debelo uslojenih formacija. Slojevitost je uglavnom subhorizontalna i ravnomjerna. Uočena su i dva ortogonalna subvertikalna seta pukotina varijabilnog otvora. Uvjeti pojave podzemne vode povoljni su na oba gradilišta gdje se razina podzemne vode trajno nalazi ispod temelja crpnih stanica. Takva je situacija pridonijela uglavnom dobrim uvjetima za izvođenje tunelskih radova, s prilično rijetkim pojavama nestabilnosti stijenske mase [5].

U segmentu projektiranja najveći se izazov očekivao u projektiranju izlaznih tlačnih tunela i razdjelnika. Te su građevine projektirane s armiranobetonskom oblogom, pri čemu se računalo da će se prirodna stijena i pojačanje zajednički uspješno oduprijeti unutarnjim vodnim tlakovima. Može se očekivati da će obloga popucati ako dođe do projektiranih unutarnjih tlakova kada obloga postaje podložna procurivanju. U ovom je projektu mogućnost procurivanja umanjena tako da je veličina betonskih pukotina ograničena ugradnjom armaturnog pojačanja, a procurivanje je i inače ograničeno zbog niske razine propusnosti okolne stijenske mase. Stupanj nepropusnosti dodatno je povećan konsolidacijskim injektiranjem u prostoru oko tunela. Kod mnogih tlačnih tunela vanjski tlak podzemne vode također ograničava



Slika 6. Aksonometrijski prikaz GMPY1

mogućnost procurivanja jer dolazi do smanjenja diferencijalnog tlaka.

Međutim, u slučaju crpnih stanica GMPS 1 i 2 nema vanjskog tlaka podzemne vode kojim bi se kompenzirali unutarnji tlakovi. Osim toga, vrlo je kratak put procurivanja od tlačnih tunela do susjednih podzemnih iskopa, kao što su pristupni tuneli i zasunske komore. Također je važno napomenuti da su pri iskopavanju pristupnih tunela uočene određene kraške pojave u vapnenastim formacijama na razini tlačnih tunela. Sve je to upozoravalo na povećanu opasnost od procurivanja jer je postalo jasno da bi stijenska masa ipak mogla biti prilično propusna te da možda ne bi mogla kvalitetno spriječiti procurivanje [3].

Da bi se uklonile te nedoumice, proveden je program istražnih radova radi ispitivanja stanja stijenske mase u blizini izlaznih razdjelnika crpnih stanica GMPS 1 i 2, i to prije samog iskopa tih razdjelnika. Prema potrebi projekt bi se modificirao naknadno, prije iskopa spomenutih razdjelnika. U okviru istražnih radova obavljena su ispitivanja injektiranjem vode (pakerska ispitivanja), ispitivanja hidrauličkom dizalicom, modificirana Goodmanova tlačna ispitivanja bušotine te ispitivanja jezgrovanjem. Rezultati ispitivanja pokazali su da je stanje formacija prilično neujednačeno, što se moglo i očekivati u takvim geološkim uvjetima. Na temelju spomenutih ispitivanja i dodatnih analiza obavljenih u toku projektiranja, usvojene su i odgovarajuće promjene projek-

ta. Te su se promjene uglavnom odnosile na konsolidacijsko injektiranje i količinu armature.

Međunarodni ugovor za prvu dionicu dio je glavnog cjevovoda. Osnovne građevine sastoje se od nekoliko pristupnih, ventilacijskih i odvodnih tunela te tlačnih i kabelskih okana, dok su središnji dijelovi obiju crpnih stanica locirani u dvije kaverne:

1. Glavna crpna stanica br. 1 (GMPS 1) veličine 148,80 m x 17,60 m x 33,20 m (duljina x širina x visina).
2. Glavna crpna stanica br. 2 (GMPS 2) veličine 148,80 m x 17,60 m x 33,20 m (duljina x širina x visina).

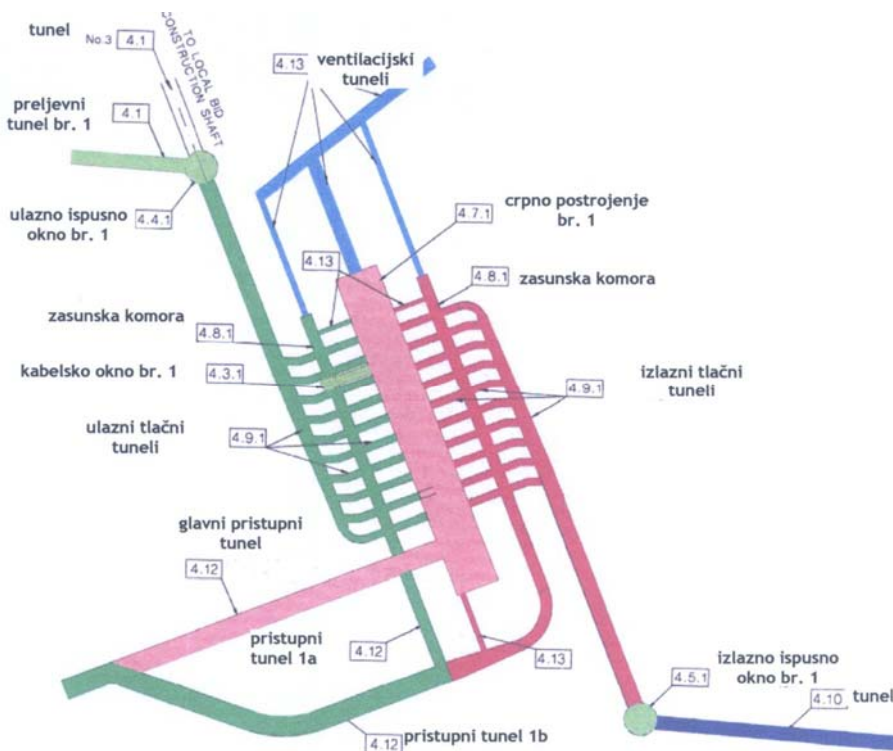
Ovaj je projekt realiziran u roku od 43 mjeseca, s tim da je 32 mjeseca bilo predviđeno za izvođenje radova iskopa. Iskop je obavljen u zdravoj stijeni tj. u vapnencu u kojem gotovo da i nije bilo kraških pojava. Prodor vode mogao se očekivati u kišnoj sezoni ili nakon jakih kiša.

## 2.2 Osnovna tehnologija građenja: radovi na iskopu

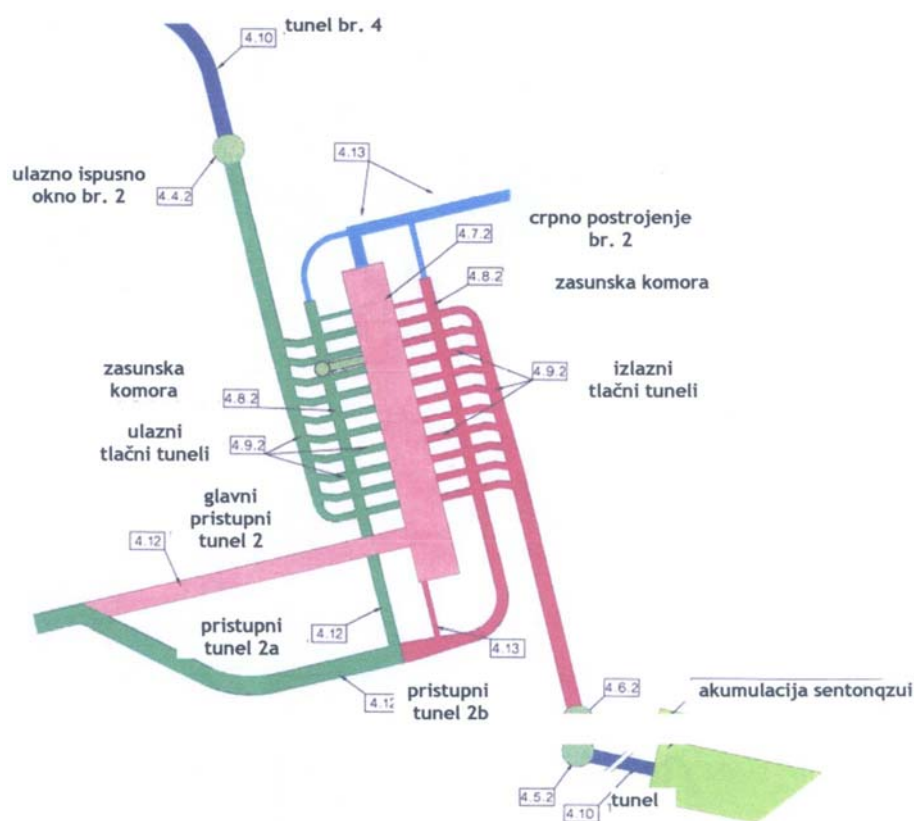
Pri izvođenju radova prednost ima izvođenje crpnih postrojenja GMPS 1 i 2. Izvođenje ostalih radova obavlja se usporedno ili naizmjenično, a njihova se dinamika mogla korigirati u skladu sa situacijom na terenu. Da bi se omogućilo napredovanje radova na crpnim zgradama s crpnim stanicama, prvo su obavljani iskopi za ventilacijske tunele i glavne pristupne tunele te su otvorene pristupne ceste za građenje i zemljane radove.

Za iskop tunela i komora uglavnom se kao glavni građevinski prolaz koristio pristupni tunel br. 1 (2), dok su se za zemljane radove trebali proširiti neki drugi tuneli.

Izvedeni su samo oni pomoćni prolazi koji su navedeni u prvobitnom projektu. Iako aktivnosti izvođenja okana nisu na kritičkom putu, brže izvođenje iskopa vrlo je pogodno za ventilaciju tunela i za iskopavanje nekima primijenjena kombinirana metoda izvođenja odozgo i odozdo, da bi se tako novo radno čelo formiralo u što kraćem roku. Tako se može smanjiti pritisak građevinskih radova u



Slika 7. Prikaz crpne stanice GMPS1

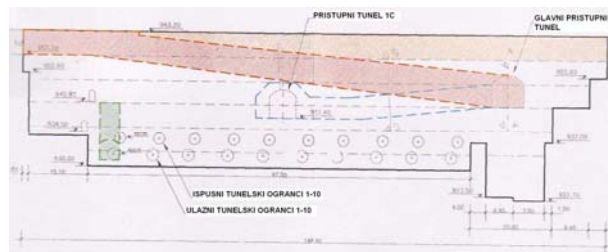


Slika 8. Prikaz crpne stanice GMPS2

vršnom razdoblju, a ventilacijska se okna mogu izvesti brzo, čime se ujedno poboljšavaju i ekološki uvjeti obavljanja podzemnih radova.

### 3 Podzemni iskop i podgrada crpnih stanica

Zgrade crpnih postrojenja stanica GMPS 1 i GMPS 2 istog su oblika, a dimenzije su im: 148,80 m x 17,60 m x 33,20 m (duljina x širina x visina). Kota vrha crpnog postrojenja 1 iznosi 963,2 m, dok odgovarajuća kota crpnog postrojenja 2 iznosi 1096,2 m. Iskop podne ploče je na koti 990 m (stanica 1) odnosno na koti 1061,5 m (stanica 2).



Slika 9. Uzdužni presjek kaverne crpnog postrojenja crpne stanice GMPS 1

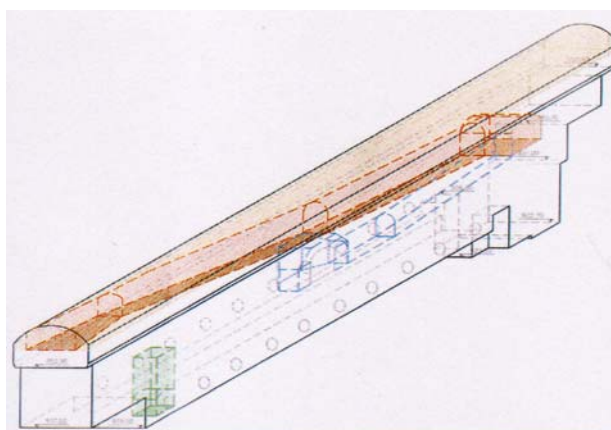
U skladu s rasporedom slojeva, smještajem pristupne ceste te zahtjevima iz Tehničkih specifikacija, crpno je postrojenje izvedeno u sedam slojeva. Postupak građenja opisuje se u nastavku, a sažeto je prikazan u tablici 1.

Prvo se kroz glavni pristupni tunel ulazi u crpno postrojenje, pri čemu se podna ploča nalazi na koti 945,9 m (1078,9 m). Zatim se iskopava srednja štolna uz uzlazni nagib od 14 %, a dimenzije presjeka su 6,0 x 7,2 m (širina x visina). Kada srednja štolna dosegne kotu 956 m (1.089 m), kruna srednje štolne preklapa se s projektiranom linijom iskopa krune crpnog postrojenja.

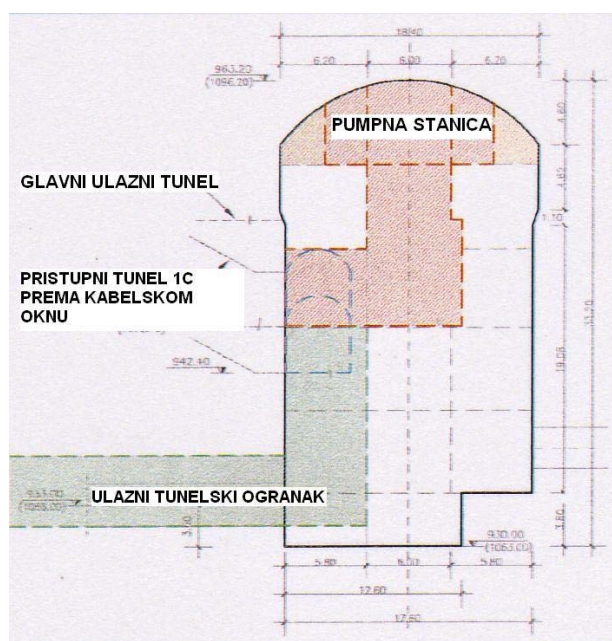
Radovi napreduju horizontalno sve do spoja s ventilacijskim tunelom 1a (2a). Kasnije se plato širine 6 m (plato bočnog bloka sloja I) rabi kao operativni prostor, iskopava se stijenski materijal u sloju I. u suprotnom smjeru, pri čemu se srednja štolna rabi kao kanal za iskopani materijal. Preostala stijena u tom sloju oblikuje se jednokratnim miniranjem, pri čemu srednja štolna služi kao otvoreno čelo. Ostali slojevi crpnog postrojenja iskopavaju se sloj po sloj odozgo prema dolje.

Tablica 1. Visina raslojavanja na glavnom pristupnom tunelu

Sloj	Visina raslojavanja	Napomene
I	7,2	srednja štolna T. → glavni pristupni tunel (silazni nagib: 14%)
II	6,0	srednja štolna T. → glavni pristupni tunel (silazni nagib: 14%)
III	4,2	→ glavni pristupni tunel
IV	6,0	→ glavni pristupni tunel (uzlazni nagib: 4%) zgrtanje materijala, nasipavanje ceste
V	6,0	proširen izlazni tunelski ogranak → izlazna zasunska komora → pristupni tunel 1b (2b)
VI	3,8	proširen ulazni tunelski ogranak → ulazna zasunska komora → pristupni tunel 1a (2a)
VII	3,9	proširen ulazni tunelski ogranak → ulazna zasunska komora → pristupni tunel 1a (2a)

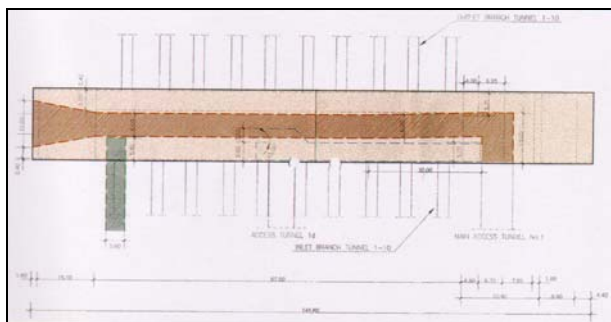


Slika 10. Aksonometrijski prikaz i presjek kaverne zgrade crpnog postrojenja crpne stanice GMPS 1



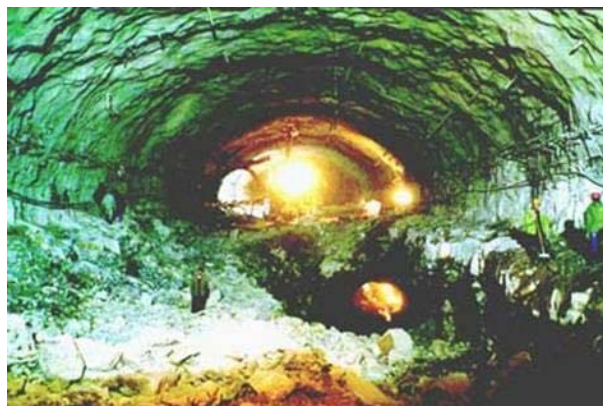
Slika 11. Prikaz kaverne crpne stanice GMPS 1

Usporedo s iskopavanjem svakog sloja obavljaju se i poslovi sidrenja, torkretiranja i postavljanja podložne čelične mreže. Za podgradu, čelo iskopa i vremenski interval iskopavanja, udaljenost od radnog čela treba biti u skladu sa zahtjevima iz tehničkih specifikacija.



Slika 12. Prikaz kaverne crpne stanice GMPS 1

Radovi na iskupu počeli su na srednjoj štolni tako da je izvođenje počelo od glavnog pristupnog tunela 1 (2). Bušenje minskih bušotina obavljeno je tunelskom bušilicom, a nakon miniranja odvoz materijala organiziran je velikim utovarivačima.



Slika 13. Kaverna crpnog postrojenja 1 u toku iskopa prve stepenice

Iskop u sloju I. obavljen je počevši od srednje štolne i to primjenom metode kombiniranog bušenja i miniranja. Iskopani materijal odvozili su utovarivači kapaciteta 15 tona. Isti postupak iskopa rabio se i u ostalim slojevima (II., III., IV., V. i VI.).

Kada je iskop obavljen do gornjeg sloja I., strop crpnog postrojenja poduprt je pomoću svođene armiranobetonske primarne podgrade. Podgrada se rabila ovisno o stanju stijenske mase.

Čelična rešetka, potporna greda i greda za mosnu dizalicu instalirani su kada je iskop za crpne stanice dosegao kotu 951 m (1084,5 m). Mosna dizalica instalirana je kada je iskop za crpne stanice dosegao kotu 945,5 m (1078 m). Obavljeno je i proširenje iskopa pristupnog tunela 1c (2c) i kabelskog okna br. 1 (2).

Iskop svih okana izveden je vrlo konzervativnim načinom miniranja, pa čak i kada se radilo o najvišem oknu, tj. o kabelskom oknu visine 140 m. Vanjski promjer gornjeg dijela iznosi 11 m (slika 6.), a promjer u baznom oknu 3 m (slika 12.). Gornji je dio proširen s 3 na 11 m kada je širina baznog okna od 3 m postignuta po čitavoj dubini okna od 140 m. Upotrijebljena je tehnologija kombiniranog bušenja i miniranja i to tako da se miniranje okna obavljalo u jednodimenzionalnim intervalima napredovanjem odozgo prema dolje. Svaki interval sastojao se od nekoliko koraka, a u prvom su se koraku bušile rupe u dnu okna za sljedeći ciklus miniranja. Ostali su koraci:

- bušenje minskih bušotina u dnu okna
- postavljanje eksploziva u bušotine i spajanje sa žicama za miniranje te s električnim detonatorom

- odvoz radnika iz okna pomoću običnog vitla
- provedba jednogmetarskog ciklusa miniranja
- ventiliranje okna nakon miniranja (15, 20 min)
- spuštanje radnika u okno pomoću vitla
- utovar miniranog kamena u žičane košare
- iznos iskopanog kamena iz okna vitlom
- priprema dna okna za sljedeći ciklus bušenja.



Slika 14. Ulaz u kabelsko okno 1 na lokaciji GMPS 1 (dubina okna 140 m, vanjski promjer 3 m); pogled na ulaz u okno

Treba spomenuti da se taj postupak rabio za čitavo kabelsko okno 1 (140 m) i za ulazno i izlazno okno (50 m) te da je širina okna iznosila samo 3 m. Sigurnosna zaštita za radnike sastojala se od čeličnoga radnoga stola koji se nalazio u dnu okna iznad glava radnika, štiteći ih tijekom rada u oknu. Također valja napomenuti da su radnici bili dužni upotrebljavati ventilaciju za pročišćavanje zraka u oknu nakon miniranja, čime su im osigurani osnovni sigurnosni uvjeti. Radnici su često odbijali koristiti se ventilacijom za čišćenje dna okna jer "se time prekida radni ciklus" i "to predugo traje". Ipak, uz primjenu takvih mjera radovi su dovršeni bez kobnih slučajeva.



Slika 15. Portal tunela 7 i praktične upute o upotrebi torkreta u izradi primarne podgrade

Ista konzervativna tehnologija, tj. kombinacija bušenja i miniranja, rabila se za iskop susjednih spojnih tunela, a zidovi tunela pojačavali su se torkretom, sidrima i čeličnim mrežama. U toku radova na iskopu i podgrađivanju, za osoblje investitora i podizvođača organizirani su brojni tehnički seminari u okviru transfera tehnologije i znanja da bi se radovi obavili što kvalitetnije, uz primjerenu zaštitu osoblja i opreme.



Slika 16. Portalni dio kosog tunela 7 s tračnicama

Iako se u Kini primjenjuju vrlo strogi tehnički propisi, nesreće se ipak događaju prilično često. Uz službenu brigu za radnike, često se događa da članovi obitelji rad-



nika poginulih na gradilištu dodatno traže naknadu štete. Stoga su se pitanja zaštite na radu vrlo ozbiljno razmatrala na brojnim tehničkim seminarima i obukama koje su bile organizirane u toku izvođenja radova na samom gradilištu.



Slika 17. Portal tunela 5 s ventilacijskim sustavom

#### 4 Betonski radovi na crpnim stanicama

Beton se ugrađuje u slojevima i u blokovima, ovisno o vrsti građevine i o metodi građenja. Beton potreban za crpno postrojenje ugrađen je u osam slojeva (što ne uključuje ležajno pojačanje za čelični krovni jaram crpnog postrojenja i mosnu dizalicu) a beton za sekundarno crpno postrojenje ugrađen je u deset slojeva.

Beton za ležajno pojačanje čeličnoga krovnog jarma ugrađen je kada je u toku radova iskopa dosegnuta kota od 957,00 m (1.090,00 m). Betonski radovi za mosnu dizalicu obavljani su kada su graditelji dosegli kotu od 951,50 m (1.084,50 m). Beton za ležajno pojačanje čeličnoga krovnog jarma i za mosnu dizalicu prevezio se horizontalno, automiješalicom kapaciteta 6 m<sup>3</sup>, od betonare do pristupnih tunela te zatim do glavnoga crpnog postrojenja gdje se betonskom crpkom prebacivao u prostor iza oplata. Beton u oplati radnici su poravnavali i vibrirali pomoću pervibratora.

Beton za crpno postrojenje i sekundarno crpno postrojenje dopremao se horizontalno automiješalicom kapaciteta 6 m<sup>3</sup> kroz pristupne tunele. Ugradnja u oplatu također se obavljala pomoću betonske crpke, a beton u oplati poravnavali su i vibrirali radnici vibratorom. Beton se ugrađivao u blokovima te polaganjem debelih slojeva, a rad bi počeo na jednom kraju polaganjem osnovnoga horizontalnog sloja. Cijevi betonskih crpki postavljale su se duž bočnog zida na obje strane crpnog postrojenja. Beton se prevezio na razna mjesta i podizao pomoću cijevi betonske crpke, a sama se ugradnja obavljala ispusnim cijevima ili elastičnim crijevima.

Armatura se izrađivala u armiračkom pogonu te se zatim dovozila na gradilište. Armaturni sklopovi formirali

su se također u armiračkom pogonu i prevozili na gradilište. Montaža armaturnih koševa obavljala se dizalicom da bi se ubrzalo izvođenje radova.



Slika 18. Aksonometrijski prikaz i poprečni presjek kaverne crpnog postrojenja crpne stanice GMPS 1

Oplata za ležajno pojačanje mosne dizalice i čeličnog krovnog jarma sastojala se od složene čelične oplata koja se postavljala petotonskom autodizalicom. Armaturni koševi izrađivali su se u segmentima na armiračkom pogonu izvan tunela. Spajanje segmenata i njihova montaža na mjestu ugradnje obavljala su se dizalicom.

Beton za crpno postrojenje i sekundarno crpno postrojenje ugrađivao se odozdo prema gore, u skladu s redoslijedom slojeva. Za bočne se zidove rabila čelična oplata povezana armaturom. Za spajanje vezne armature i stijene rabile su se sidrene šipke. Za spojeve oplata i vezne armature primijenjena je metoda zatvorenog povezivanja (*inter-buried method*). Čelična se oplata upotrebljavala više od pedeset puta, dok se drvena oplata rabila najviše dva puta. Drvene potporne konstrukcije mogu se upotrebljavati desetak puta.

Uzimajući u obzir specifične uvjete na mjestu građenja, odlučeno je da se umjesto pumpanog betona radije izvode betonski radovi. Ipak, pumpani se beton rabio na mjestima gdje se to pokazalo prikladnijim.

## SUDIONICI NA PROJEKTU

<b>Projekt:</b>	Pokrajina Shanxi, NR Kina, Prva dionica, ICB Opći građevinski radovi Projekt skretanja Žute rijeke u pokrajini Shanxi Wanjiashai
<b>Investitor:</b>	Korporacija "Shanxi Wanjiashai Yellow River Diversion Project Corporation", Taiyuan, pokrajina Shanxi
<b>Projektant:</b>	Tianjin Investigation and Design Institute (TIDI) u suradnji s Canada-China Power Inc. (CCPI)
<b>Savjetnik projektanta:</b>	CCPI J.V. (kanadski konzultantski uredi: AGRA, SNC Lavalin i Acres)
<b>Geološki nadzor:</b>	Mott Macdonald, UK - Binnie, Black and Veatch, USA J.V.
<b>Nadzor radova:</b>	Mott Macdonald, UK - Binnie, Black and Veatch, USA J.V.
<b>Izvođač:</b>	MAS J.V. (Mayreder - Alpine - STEC), austrijsko-kineska poslovna udruga
<b>Voditelji projekta:</b>	Andreas Gruber, ing. građ., Alpine (studeni 1997. - veljača 1998.) Davorin Kolić, dipl. ing. građ., Mayreder (veljača 1998. - studeni 1998.) Ingo Cottogni, ing. građ., Alpine (prosinac 1998. - svibanj 2001.)
<b>Izvođač za iskope i primarnu podgradu:</b>	Mayreder-Alpine, Austrija i lokalni podizvođači
<b>Izvođenje betonske obloge i ostalih betonskih radova:</b>	STEC (Shanghai Tunnel Engineering Corporation), Shanghai Dr. Bai Yun, STEC
<b>Lokalni podizvođači:</b>	Peti građevinski ured pokrajine Shanxi Sedmi građevinski ured pokrajine Shanxi studeni 1997. - svibanj 2001. (43 mjeseca)
<b>Razdoblje građenja:</b>	
<b>Ukupni troškovi izvođenja prve dionice:</b>	38 520 000,00 eura

## 5 Koristi od realizacije projekta

Ovim projektom ostvarene su goleme koristi ne samo na lokalnoj i regionalnoj razini, već i na razini čitave pokrajine Shanxi. Kao prvo, 2,85 milijuna stanovnika koji

žive u urbanim sredinama više neće biti pogođeno velikim nestašicama vode. Otprilike 20 posto (0,6 milijuna) od tih stanovnika među najsiromašnijima su u Kini, a dnevno zarađuju u prosjeku manje od 0,35 američkih dolara. Diskontirane koristi (po pokazateljima iz 1996.



Slika 19 Voditelji projekta za prvu dionicu i predstavnici investitora

godine), izračunate iz viškova koji nastaju zbog povećane platežne sposobnosti (indikator za izračunavanje ekonomske koristi zbog povećanja potrošnje), iznose 155 milijuna (5,0 posto od ukupnih koristi). Osim toga, od projekta će imati koristi i 0,6 milijuna stanovnika koji žive u seoskim sredinama. Tome treba pridodati i dodatnu vrijednost koja se ostvaruje u industriji zbog dostupnosti vode, a ta se vrijednost procjenjuje na više od 2,45 milijardi američkih dolara (75 posto). I konačno, koristi koje će se ostvariti u poljoprivredi recikliranjem vode iznose 657 milijuna dolara (20 posto).

S tehničkog je gledišta ovaj projekt veliki izazov koji se ne može planirati niti izvoditi u razvijenim državama. S aspekta veličine projekta, to je do sada najveći derivacijski projekt u okviru kojeg se u golemo područje doprema voda koja daje novu kvalitetu života stanovnicima kineskih područja suočenih s promjenom klimatskih

uvjeta, nestašicom vode i pretvaranjem u pustinju. Pokrajina Shanxi, iako pogođena nestašicom vode, ima najveće rezerve ugljena na svijetu koje se procjenjuju na više od 200 milijardi tona. Očekuje se da će voda omogućiti kvalitetniju eksploataciju tog rudnog bogatstva.

Bez obzira na teško podnošljivu klimu i složene uvjete koji su otežavali rad svim sudionicima, ovaj posao proveden u multikulturalnom okruženju donio je brojne koristi, i to transferom tehnologije i podizanjem razine tehničke obrazovanosti u regiji. Za izvođenja građevinskih radova, strani konzultanti i izvođači održali su brojne tehničke i praktične seminare te su tako omogućili usvajanje naprednih zapadnih tehnologija i radnih postupaka, osobito u području izvođenja tunela i podzemnih građevina. U toku realizacije ovog projekta, zaključeno je i više od 35 brakova između stranoga tehničkog osoblja i lokalnih prevoditelja.

## LITERATURA

- [1] Müller, M.: *Erste Erfahrungen in China am Beispiel Yellow River Diversion Project, Lot I*, ÖIAZ, 143, Jg., Heft 9/1998, S. 326-328.
- [2] Kolić, D. et al.: *Underground Caverns in Design and Construction*, ACUUS, 8th Int. Underground Space Conference, Xian, China, 27-30 Sept. 1999, pp. 8.
- [3] Kolić, D. et al.: *Multifunctional Underground Openings*, Scientific Symposium Rock Mechanics and Tunnelling, Zagreb, Croatia, Sep. 30 - Oct. 2, 1999, pp. 6.
- [4] Fu B. & Grasso P. & Xu S.: *Construction of Underground Hydraulic Structures and TBM Technology in China*, Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, Vol 22, 2003, pp. 1521-1526.
- [5] Müller, M.: *Yellow River Diversion Project - Lot IV of Tunnel No. 1 on the North Main Line*, The Austrian Art of Tunnelling, Galler, Stipek Edts. 2008, S. 171-173.
- [6] Kolic, D., Yun, B., Nicola, A.: *TBM tunnelling in Karst Regions*, EUROCK 2009: Rock Engineering in Difficult Ground Conditions - Karst and Soft Rock, Edt. Vrkljan, Dubrovnik/Cavtat, Croatia, Taylor Francis 2009, pp. 657-662.