

# PŘEČERPÁVACÍ VODNÍ ELEKTRÁRNA DLOUHÉ STRÁNĚ

## THE DLOUHÉ STRÁNĚ PUMPED STORAGE SCHEME

JIŘÍ BARTÁK, JIŘÍ SMOLÍK

### ZÁKLADNÍ ÚDAJE

Region	Olomoucký kraj, Hrubý Jeseník	
Investor	ČEZ, a. s.	
Projektant	HYDROPROJEKT, a. s., závod Brno	
Zhotovitel	INGSTAV Opava, a. s., dodavatel stavení části SUBTERRA, a. s., subdodavatel podzemní části ČKD BLANSKO vyšší dodavatel technologické	
části		
Uživatel	ČEZ, a. s., Ostravsko-karvinské elektrárny	
Období výstavby	1978 – 1996	
Objem stavebních prací	ražené objekty	290 000 m <sup>3</sup>

### ÚVOD

Přečerpávací vodní elektrárny (PVE) jsou celosvětově osvědčeným moderním regulačním prvkem energetických soustav. Výstavba PVE Dlouhé Stráně na severu Moravy byla zahájena již v květnu roku 1978, od roku 1981 až do roku 1987 následoval útlum výstavby, vyvolaný problémy v koncepci řešení energetické politiky státu. Dobré zkušenosti získané s provozem reverzních turbin na PVE Dalešice, a po roce 1989 možnost úspěšného srovnání technického řešení PVE Dlouhé Stráně s obdobnými díly v západní Evropě, přispěly ke stanovení termínu dokončení výstavby na rok 1994. V téměř roce však došlo při zkouškách soustrojí TG 1 k havárii, která termín dokončení odsunula na konec roku 1996.

V roce 2005 zvítězila PVE Dlouhé Stráně v internetové anketě na téma „Sedm divů České republiky“.

### VŠEOBECNĚ

Přečerpávací elektrárna využívá půlkilometrového rozdílu mezi horní vodní nádrží, vyhloubenou na vrcholu hory Mravenečník (1350 m n. m.), a spodní přehradní nádrží na řece Divoká Desná.

### BASIC DATA

Region	the Olomouc Region; Hrubý Jeseník	
Employer	ČEZ a. s.	
Designer	HYDROPROJEKT a. s., Brno plant	
Contractor	INGSTAV Opava a. s., civils works contractor SUBTERRA a. s., sub-contractor for underground structures ČKD Blansko, mechanical equipment main contractor	
User	ČEZ a. s., Ostrava Karviná power plants	
Construction period	1978–1996	
Works volume	mined structures	290,000 m <sup>3</sup>

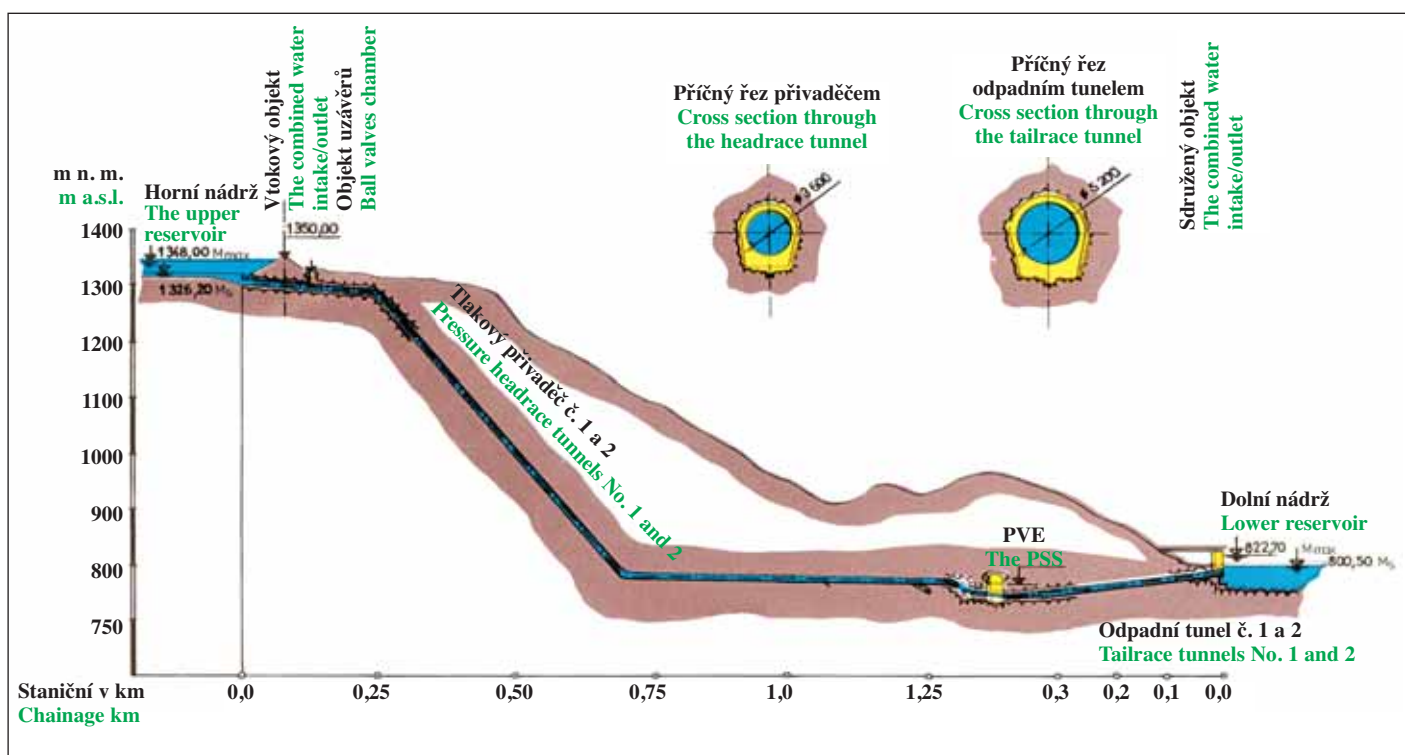
### INTRODUCTION

Pumped storage schemes (PSS) are a well-proven regulation element of power generation systems. The construction of the PSS Dlouhé Stráně commenced in May 1978. Subsequent construction checks in the 1981 - 1981 period resulted from problems in the conception of the solution of the national power generation policy. Positive experience in operation of reversible turbines at the PSS Dalešice, and the possibility after 1989 to successfully compare the technical solution of the PSS Dlouhé Stráně with similar schemes in Western Europe contributed to a decision on the works completion deadline to be the year 1994. In the same year, however, an incident occurred during the TG 1 power generating set testing. It shifted the completion date to the end of 1996.

The PSS Dlouhé Stráně was the winner in an Internet survey on the topic “The Seven Wonders of the Czech Republic”.

### IN GENERAL

The pumped storage scheme makes use of the difference of about 500m between the upper reservoir, which was dug on the top of



Obr. 1 Hydraulický obvod PVE Dlouhé Stráně  
Fig. 1 Hydraulic circuit of the PSS Dlouhé Stráně

Horní nádrž je v době energetických přebytků plněna čerpadly vodou ze spodní nádrže, v období špičkové spotřeby tato vodní zásoba pohání dvě reverzní Francisovy turbíny, které jsou umístěny v kaverně podzemní hydroelektrárny, každá o výkonu 325 MW. To je největší instalovaný výkon ze všech vodních elektráren v ČR. Maximální spád pro turbíny činí 532,7 m a dopravní výška pro čerpadla 554,1 m, což u obou hodnot jsou opět maxima dosažená v ČR. K hlavním efektům elektrárny patří schopnost plnit funkci výkonové rezervy energetického systému, vyrábět regulační výkon a podílet se na řízení kmitočtu celé soustavy.

## GEOLOGIE

PVE DS a její podzemní části jsou umístěny do mohutného horského masivu severomoravského pohoří Hrubého Jeseníku. Horninové prostředí je tvořeno poměrně stabilním rulovým masivem; biotitické pararuly jsou slabě až silně migmatizovány s lokálním výskytem vloček amfibolitu a pegmatitu. Podrobný inženýrskogeologický průzkum umožnil vytvoření trojrozměrného matematického modelu, kterým byla stanovena napjatost a deformace masivu v průběhu výstavby podzemí. Závěry průzkumných zjištění byly v průběhu realizace z větší části potvrzeny, i když během ražeb došlo ve třech případech k poměrně rozsáhlým zavalům o velikosti až 200 m<sup>3</sup>.

## HLAVNÍ PODZEMNÍ OBJEKTY

Při výstavbě PVE bylo realizováno celkem 35 podzemních objektů. Klasickou ražbou bez kolejové mechanizace byly vyraženy:

- kaverna pro elektrárnu o rozměrech 87 x 25 x 50 m,
- kaverna pro trafostanici o rozměrech 117 x 16 x 21 m,
- štoly a tunely o příčných profilech 12 až 50 m<sup>2</sup> v celkové délce 5,5 km.

Nejnáročnějšími podzemními pracemi byly výlom klenbové části kaverny elektrárny s konečnou velikostí rozpětí 25,5 m a výlom šikmých částí tlakových přivaděčů. Ražba klenbové části kaverny elektrárny byla v souladu se statickým výpočtem členěna na výlom podstropní štoly a výlom štol v patkách klenby. Po skončení betonáže patek v patkových štolách byl výrub pro klenbu dokončen vyražením mezipilířů a následně byla provedena betonáž klenby. Provizorní výztuž klenby a stěn kaveren byla kromě armovaného stříkaného betonu tvořena sítí tyčových kotev délky 5,7 m s nosností 170 kN. Deformace horninového prostředí a provizorní výztuže byly monitorovány konvergenčním a tensometrickým měřením.

Výlom lávek kavernového prostoru byl prováděn trhacími pracemi po stupních výšky 5 m s použitím řízeného výlomu za stálých měření,



Obr. 2 Kaverna pro elektrárnu – plný výlom  
Fig. 2 The fully excavated cavern

Mravenečník Mountain (1,350m a.s.l.), and the lower reservoir on the Divoká Desná River. The upper reservoir is filled by pumps with water from the lower reservoir in periods of power surpluses; in periods of peak consumption this water propels a pair of reversible Francis turbines with a total power of 2x325MW, installed in the power cavern. This installed output is the highest of all hydropower plants in the Czech Republic. Maximum gradient for the turbines amounts to 532.7m, and maximum delivery head for pumps to 554.1m. These values are again the maximums achieved in the CR. Counted among main effects of the power plant is the capability to assume the function of a reserve of capacity of the power generating system, to produce regulation power, and contribute to the frequency control of the entire power generation system.

## GEOLOGY

The PSS DS and its underground parts are located in a mighty mountain massif of the North Moravian Hrubý Jeseník mountain range. The rock environment consists of relatively stable gneiss; biotite paragneiss is weakly to heavily migmatitised, with local occurrence of interlayered amphibolite and pegmatite. The detailed engineering geological investigation allowed a 3D mathematical model to be developed that was used for the determination of the state of stress and deformations of the rock mass during the course of the underground works. The conclusions of the investigation findings were mostly proven during the works, despite the fact that three events of relatively serious cave-ins occurred (up to 200m<sup>3</sup>).

## MAIN UNDERGROUND STRUCTURES

The PSS construction comprised 35 underground structures in total. Traditional mining methods without track-bound equipment were used for the excavation of:

- the powerhouse cavern with dimensions of 87m long x 25m wide x 50m high,
- the transformer cavern with dimensions of 117m long x 16m wide x 21m high,
- galleries and tunnels with cross-sections of 12 to 50m<sup>2</sup>, total length of 5.5km.

The most demanding underground work was the excavation of the vaulted part of the powerhouse cavern with the final span of 25.5m, and the excavation of inclined parts of pressure headrace tunnels. The excavation of the vaulted part of the powerhouse cavern was divided, in compliance with the structural analysis, into a drift under the roof and excavation of side drifts at the springing level. Once the footings had been cast in the side drifts, the excavation for the vault was completed by removing the intermediate pillars. The vault casting followed. Temporary support of the cavern vault and walls consisted, apart from reinforced shotcrete, of a system of 5.7m long anchor rods with a capacity of 170kN. Deformations of the ground environment and temporary support were monitored by convergence and strain-gauge measurements.

The benches of the cavern were excavated by drill and blast with vertical advances of 5m. Controlled blasting procedures were adopted with continual measurements for the monitoring of seismic forces acting on the concrete vault. The walls of the powerhouse cavern were supported by a system of permanent 10 – 25m long cable anchors with a capacity of 840kN.

The difficult uphill excavation of the inclined sections of the headrace tunnels (a length of 687.1m, gradient of 45°) was carried out using a Groundhog – GLH 500 Alimak inclined mining platform. A full-face (15.88m<sup>2</sup>) excavation system was adopted, without any pilot borehole and without independent EG investigation along the route of the headrace tunnels. The only data available were the results of refraction seismic measurements carried out from the surface. The rock mass quality was relatively good. The only problem occurred in the course of the uphill excavation of the headrace tunnel #2 when a weakness zone was being passed through. A water saturated clastic material was tapped at a depth of 134m under the surface. It





Obr. 3 Letecký pohled na horní nádrž PVE Dlouhé Stráně (Agentura MAFA)  
Fig. 3 The upper reservoir of the PSS Dlouhé Stráně – aerial view (Agency MAFA)

monitorujících seismické zatížení betonu klenby. Stěny kaverny elektrány byly zabezpečeny sítí trvalých lanových kotev délky 10 – 25 m nosnosti 840 kN.

Náročná dovrchní ražba šikmých částí přivaděčů délky 687,1 m ve sklonu 45° byla prováděna s použitím razicího komplexu Groundhog – GLH 500 Alimak. Razilo se plným profilem o ploše 15,88 m<sup>2</sup> bez pilotního vrtu a bez samostatného podrobného IG průzkumu v trase přivaděčů, pouze na základě seismického měření z povrchu území. Horninový masiv byl poměrně kvalitní, pouze při dovrchní ražbě přivaděče 2 došlo při přechodu poruchy v hloubce 134 m pod povrchem k načepování zvodnělého klastického materiálu, který do raženého profilu vytékal 2 dny.

Komplex Groundhog-Alimak, pohybující se po vodící dráze přichycené svorníky do stropu výrubu, umožňoval bezpečné vrtání při dovrchní ražbě a současně obslužnou zdviž zajišťoval dopravu minérů na čelbu. Odstřelená rubanina se pohybovala gravitačně až k patě šikmé části přivaděče, odkud byla odtěžována kolovými nakladači.

Velmi náročnou operací bylo zasouvání pancíře o průměru 3,6 m do přivaděčů, zejména do jejich šikmých částí a přechodových kolen. Po uložení každého segmentu pancíře se prováděla betonáž prostoru mezi pancířem a výrubem a po zatvrdnutí betonu navazovaly injektáže spáry beton – hornina (cementová suspenze) a beton – pancíř (epoxyakrylátová pryskyřice).

#### VZTAH DÍLA K ŽIVOTNÍMU PROSTŘEDÍ

Výstavba PVE Dlouhé Stráně v centrální části Chráněné krajinné oblasti Jeseníky znamenala prostorově a časově ohraničený vliv na okolní přírodu, ke kterému došlo pouze v období výstavby. I v té době však byly negativní vlivy výstavby investorem důsledně regulovány. Rozsah jejich působení byl zanedbatelný např. ve srovnání s negativními účinky průmyslových exhalací a nadměrné lesní těžby. Nicméně po uvedení díla do provozu došlo k postupnému propojování povrchových objektů s okolní přírodou a v současné době je toto technické dílo a jeho začlenění do okolní krajiny pozitivně přijímáno jak orgány státní ochrany přírody, tak návštěvníky Hrubého Jeseníku.

**PROF. ING. JIŘÍ BARTÁK, DrSc., ČVUT – Fakulta stavební,**  
e-mail: bartakj@fsv.cvut.cz  
**ING. JIŘÍ SMOLÍK, SUBTERRA, a. s.,**  
email: jsmolik@subterra.cz

took two days for this material to stop flowing into the excavated space.

The Groundhog Alimak set, which moves along a guide rail fixed to the excavation roof with bolts, made safe drilling for the uphill excavation possible. In the same time, its component, a service lift, ensured transport of miners to the excavation face. The blasted debris moved downwards with gravity, up to the toe of the inclined part of the headrace tunnel, where it was loaded and moved away by wheeled loaders.

A very complex operation was the insertion of the 3.6m-diameter armouring into the headrace tunnels, especially their inclined sections and bends. The annulus between the armouring and rock was filled with concrete after the installation of the particular armouring segment. Once the process of concrete hardening was over, cement suspension and epoxy-acrylate resin were injected into the concrete-rock and concrete-armour interfaces respectively.

#### THE RELATIONSHIP OF THE WORKS TO THE LIVING ENVIRONMENT

The construction of the PSS Dlouhé Stráně in a central part of the Conservation Area of the Jeseník Mountains affected nature in an extent that was limited in terms of space and time, ending with the conclusion of the works. Although, even then were the negative effects of the works uncompromisingly regulated by the employer. The extent of the effects was negligible compared, for instance, with the negative effects of industrial emissions and excessive forest exploitation. Nevertheless, the view of the surface structures of the already operating scheme has mingled step by step with the surrounding landscape, and today this technical facility and its incorporation into its surroundings is accepted positively by both conservation authorities and visitors to the Hrubý Jeseník.

**PROF. ING. JIŘÍ BARTÁK, DrSc., ČVUT – Fakulta stavební,**  
e-mail: bartakj@fsv.cvut.cz  
**ING. JIŘÍ SMOLÍK, SUBTERRA, a. s.,**  
email: jsmolik@subterra.cz