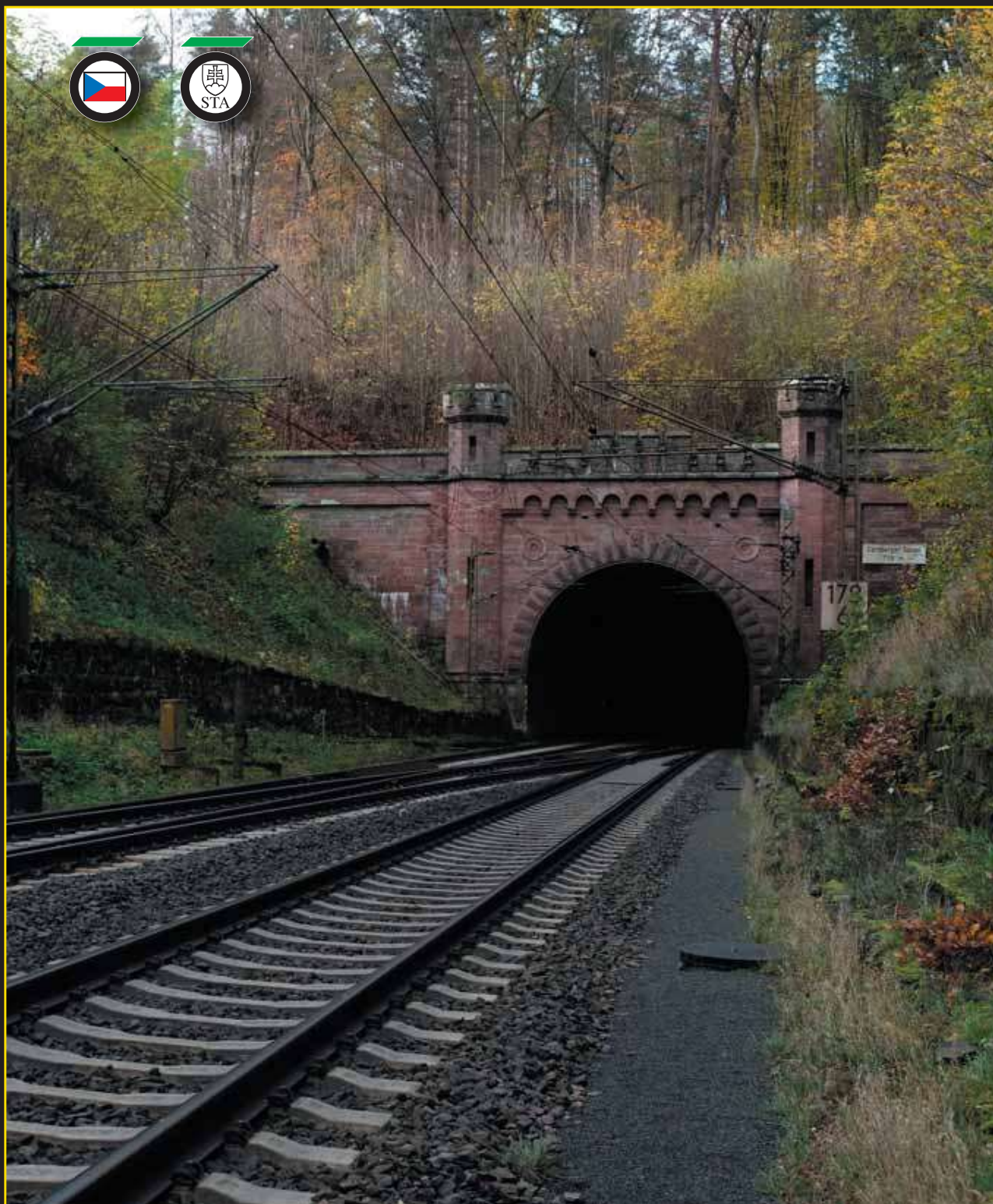


TuNEL

č. 4
2023

ČASOPIS ČESKÉ TUNELÁŘSKÉ ASOCIACE A SLOVENSKEJ TUNELÁRSKEJ ASOCIÁCIE ITA-AITES
MAGAZINE OF THE CZECH TUNNELLING ASSOCIATION AND SLOVAK TUNNELLING ASSOCIATION ITA-AITES



Podzemní stavby (vývoj, výzkum, navrhování, realizace)
Časopis České tunelářské asociace a Slovenské tunelářské asociácie ITA-AITES
Založen Ing. Jaroslavem Gránem v roce 1992

Obsah

Editorial:

Ing. Boris Šebesta, předseda redakční rady 1

Úvodníky:

Ing. Vlastimil Horák, 2

předseda představenstva AMBERG Engineering Brno, a.s. 2

Mgr. Lucie Bohátková, 3

členka představenstva a obchodní ředitelka SG Geotechnika a.s. 3

Rekonstrukce Děčínského a Loubského tunelu

Ing. Jaroslav Lacina, Ing. Lenka Kočí, Ing. Lumír Kliš, 4

AMBERG Engineering Brno, a.s. 4

Tunel Anneberg – Skanstull

Ing. Jiří Umlauf, AMBERG Engineering Brno, a.s., 15

Ing. Jan Veselý, Ph.D., AMBERG Engineering AG 15

Průzkumné práce v trase projektovaného tunelu Dětřichov

Mgr. Petr Mazáč, Mgr. Pavel Klíma, Mgr. Petra Jakubová, Ph.D., 22

SG Geotechnika a.s. 22

Inženýrskogeologické podmínky výstavby nové trasy metra I.D

v úseku mezi stanicemi Pankrác a Olbrachtova 33

Mgr. Jiří Tlamsa, Jan Zemánek, SG Geotechnika a.s. 33

Zajišťování historického dolu Jeroným z pohledu geotechnika

Ing. Martin Šefrna, SG Geotechnika a.s. 39

Fotoreportáž z slávnostního otevření rychlostní cesty R4 Prešov, 50

severní obchvat, I. etapa, s tunelem Bikoš dňa 25. septembra 2023 50

Fotoreportáž z výstavby tunelu Pohúrka 51

Ze světa podzemních staveb 53

Zprávy z tunelářských konferencí 57

Aktuality z podzemních staveb v České a Slovenské republice 62

Z historie podzemních staveb 64

Výročí 69

Rozloučení 69

Zpravodajství České a Slovenské tunelářské asociace ITA-AITES 71

Redakční rada / Editorial Board

Čeští a slovenští členové / Czech and Slovak members

Předseda / Chairman: Ing. Boris Šebesta

Místopředseda / Vice-Chairman: Ing. Jan Frantl – Subterra a.s.

prof. Ing. Jiří Barták, DrSc. – Stavební fakulta ČVUT v Praze

Ing. Tomáš Ebermann, Ph.D. – GEOTest, a.s.

Ing. Miloslav Frankovský – STA

prof. Ing. Matouš Hilar, MSc., Ph.D., CEng., MICE – 3G Consulting Engineers s.r.o.

doc. Ing. Vladislav Horák, CSc. – Fakulta stavební VUT v Brně

Ing. Vlastimil Horák – Amberg Engineering Brno, a.s.

doc. RNDr. Eva Hruběšová, Ph.D. – VŠB-TU Ostrava

Ing. Petr Hybský – Metrostav a.s.

RNDr. Radovan Chmelař, Ph.D. – PUDIS a.s.

Ing. Viktoriia Chomová – STA

Ing. Otakar Krásný – GeoTec-GS, a.s.

Ing. Ján Kušnír – STA

Ing. Libor Mařík – SAGASTA s.r.o.

Ing. Soňa Masarovičová, Ph.D. – ŽU, Stavební fakulta

Ing. Miroslav Novák – METROPROJEKT Praha a.s.

doc. Dr. Ing. Jan Pruška – Stavební fakulta ČVUT v Praze

VYDAVATEL

Česká tunelářská asociace a Slovenská tunelářská asociácia ITA-AITES pro vlastní potřebu

DISTRIBUCE

členské státy ITA-AITES

členové EC ITA-AITES

členské organizace a členové CzTA a STA

externí odběratelé

povinné výtisky 35 knihovnám a dalším organizacím

REDAKCE

Koželužská 2450/4, 180 00 Praha 8 – Libeň, tel.: +420 702 062 610

e-mail: pruskova@ita-aites.cz

web: http://www.ita-aites.cz

Vedoucí redaktor: Ing. Markéta Prušková, Ph.D.

Odborní redaktoři: prof. Ing. Jiří Barták, DrSc., doc. Ing. Dr. Jan Pruška,

Ing. Pavel Šourek, RNDr., Radovan Chmelař, Ph.D.,

Ing. Miloslav Frankovský

Grafické zpracování: Ing. Jiří Šilar DTP, Dačického 1225/8, 140 00 Praha 4

Tisk: SERIFA, s.r.o., Jinonická 804/80, 158 00 Praha 5

Foto na obálce: Východní portál stávajícího tunelu Cornberger

(foto archiv společnosti Amberg Engineering AG)

Underground Construction (Development, Research, Design, Realization)
Magazine of the Czech Tunnelling Association and the Slovak Tunnelling Association ITA-AITES
Established by Ing. Jaroslav Grán in 1992

Contents

Editorials:

Ing. Boris Šebesta, Chairman of Editorial Board 1

Ing. Vlastimil Horák, 2

Chairman of the Board of Directors of AMBERG Engineering Brno, a.s. 2

Mgr. Lucie Bohátková, Member of the Board of Directors 3

and Commercial Director SG Geotechnika a.s. 3

Reconstruction of the Děčínský and Loubský Tunnels

Ing. Jaroslav Lacina, Ing. Lenka Kočí, Ing. Lumír Kliš, 4

AMBERG Engineering Brno, a.s. 4

Anneberg–Skanstull Tunnel

Ing. Jiří Umlauf, AMBERG Engineering Brno, a.s., 15

Ing. Jan Veselý, Ph.D., AMBERG Engineering AG 15

Exploratory Operations along the Dětřichov Tunnel Route

under Design 22

Mgr. Petr Mazáč, Mgr. Pavel Klíma, Mgr. Petra Jakubová, Ph.D., 22

SG Geotechnika a.s. 22

Engineering and Geological Conditions for the Construction

of the New Metro Line I.D in the Section between Pankrác 33

and Olbrachtova Stations 33

Mgr. Jiří Tlamsa, Jan Zemánek, SG Geotechnika a.s. 33

Remediation of the Historical Jeroným Mine

from Geotechnical Point of View 39

Ing. Martin Šefrna, SG Geotechnika a.s. 39

Picture Report From the Opening Ceremony of the Fast Highway R4 50

Prešov, Northern Bypass, Stage I, with the Bikoš Tunnel 50

on 25 September 2023 50

Picture Report from Pohúrka Tunnel Construction 51

The World of Underground Constructions 53

News from Tunnelling Conferences 57

Current News from the Czech and Slovak Underground Constructions 62

From the History of Underground Constructions 64

Anniversaries 69

Last Farewell 69

Czech and Slovak Tunneling Association ITA-AITES Report 71

Ing. Pavel Růžička, Ph.D. – HOCHTIEF CZ a. s.

Ing. Michal Šerák – Inženýring dopravních staveb a.s.

Ing. Pavel Šourek – SATRA, spol. s r.o.

Ing. Václav Veselý – SG Geotechnika a.s.

Ing. Jaromír Zlámal – POHL cz, a.s.

CzTA ITA-AITES: Ing. Markéta Prušková, Ph.D.

Zahranční členové / International members

Prof. Georg Anagnostou – ETH Zürich, Switzerland

Dr. Nick Barton – NICK BARTON & ASSOCIATES, Norway

Prof. Adam Bezuijen – GHENT UNIVERSITY, Belgium

Prof. Tarcisio B. Celestino – UNIVERSITY OF SAO PAULO, Brazil

Dr. Vojtech Gall – GALL ZEIDLER CONSULTANTS, USA

Prof. Dimitrios Kolymbas – UNIVERSITY OF INNSBRUCK, Austria

Prof. In-Mo Lee – KOREA UNIVERSITY, South Korea

Prof. Daniele Peila – POLITECNICO DI TORINO, Torino, Italy

Prof. Wulf Schubert – GRAZ UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, Austria

Prof. Walter Wittke – WBI GmbH, Germany

PUBLISHED FOR SERVICE USE

by the Czech Tunnelling Association and the Slovak Tunnelling Association ITA-AITES

DISTRIBUTION

ITA-AITES Member Nations

ITA-AITES EC members

CzTA and STA corporate and individual members

external subscribers

obligatory issues for 35 libraries and other subjects

OFFICE

Koželužská 2450/4, 180 00 Praha 8 – Libeň, phone: +420 702 062 610

e-mail: pruskova@ita-aites.cz

web: http://www.ita-aites.cz

Editor-in-chief: Ing. Markéta Prušková, Ph.D.

Technical editors: prof. Ing. Jiří Barták, DrSc., doc. Dr. Ing. Jan Pruška,

Ing. Pavel Šourek, RNDr. Radovan Chmelař, Ph.D.,

Ing. Miloslav Frankovský

Graphic designs: Ing. Jiří Šilar DTP, Dačického 1225/8, 140 00 Praha 4

Printed: SERIFA, s.r.o., Jinonická 804/80, 158 00 Praha 5

Cover photo: East portal of the existing Cornberger tunnel

(photo archive of Amberg Engineering AG)

ZAJIŠŤOVÁNÍ HISTORICKÉHO DOLU JERONÝM Z POHLEDU GEOTECHNIKA **REMEDIATION OF THE HISTORICAL JERONÝM MINE FROM GEOTECHNICAL POINT OF VIEW**

MARTIN ŠEFRNA

ABSTRAKT

Důl Jeroným v Čisté ve Slavkovském lese se nachází v ložiskovém trojúhelníku Horní Slavkov – Krásno – Čistá, kde byl v minulosti předmětem těžby cín. Vydobyté komory, propojovací chodby a přístupové důlní díla ohrožují nejen stabilitu povrchu, ale rovněž i silnici II/210 Krásno–Sokolov, v jejímž podloží se nacházejí. Jedná se o historická důlní díla, k nimž původní mapová dokumentace zcela chybí. Již v době objevu, v roce 1982 při jejich propadu, byla vzhledem k historickému významu, zachování kulturního dědictví lidu a svědectví jeho dějin odmítnuta varianta likvidace těchto důlních děl v podloží komunikace a bylo rozhodnuto o jejich zachování a zajištění tak, aby byla udržena nejen stabilita silnice, ale i vlastních podzemních historických objektů pro jejich případné zpřístupnění a využití v budoucnosti. Od té doby na lokalitě probíhají systematické zajišťovací práce kritických částí dolu ohrožujících stabilitu povrchu, a to včetně nezajištěných závalů a zatápějících se prostor. S využitím tradičních i moderních geotechnických metod a postupů zde probíhají stabilizační práce povrchu, historického podzemí a přístupových důlních děl.

ABSTRACT

The Jeroným mine in Čistá in Slavkovský les is located in the ore deposit triangle Horní Slavkov – Krásno – Čistá, where tin ore was mined in the past. Excavated chambers, connecting corridors and access galleries threaten not only the stability of the surface, but also the road II/210 Krásno–Sokolov. These are historical mining works for which the original map documentation is completely missing. Already at the time of the discovery, in 1982 when they collapsed, due to their historical significance, the preservation of the cultural heritage of the people and the testimony of their history, the option of liquidating these mine works under the road was rejected, and it was decided to preserve and remediate them in such a way that stability would be maintained of not only of the road but also of the underground historic structures for making them accessible and for their utilization in the future. Since then, systematic work has been carried out on the site to stabilize critical parts of the mine that threatened the stability of the surface, including unremediated collapses and areas that are being flooded. With the use of traditional and modern geotechnical methods and procedures, stabilization of the surface, historical underground and access mine galleries is taking place there.

ÚVOD, STRUČNÁ CHARAKTERISTIKA

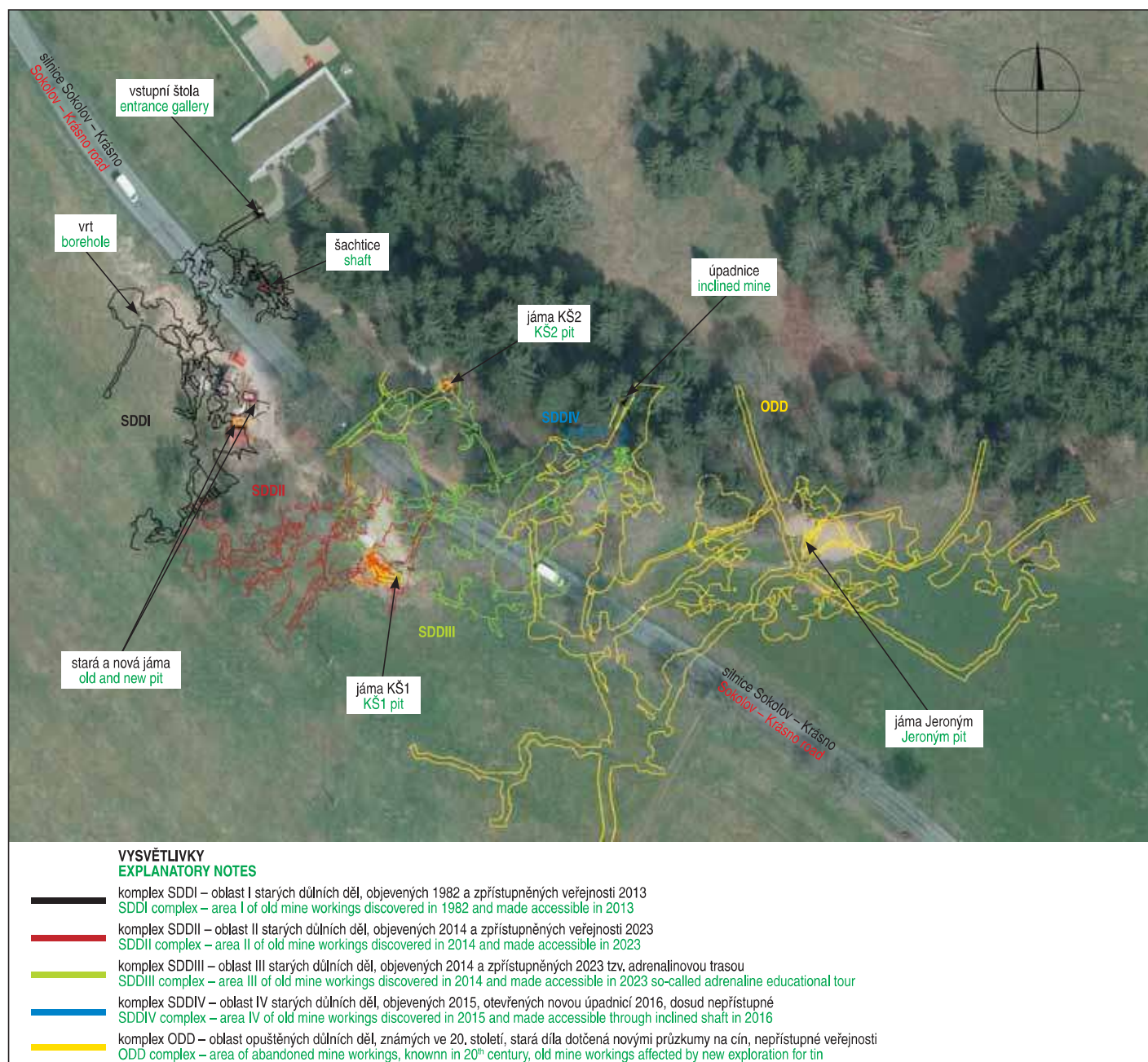
Lokalita se nachází 6 km od města Krásno ve směru na Sokolov. Důlní díla dolu Jeroným byla vyražena převážně v 16. století v době největšího rozmachu těžby cínových rud na našem území (obr. 1). Těžba zde probíhala podstatně dříve, již od 13. století rýžováním sekundárních ložisek cínu, než naši předci přešli k těžbě primárních ložisek. Stáří podzemních komor je prokázáno z datace výdřevy do 15. a 16. století. Těžba zde probíhala s přestávkami v průběhu 400 let a poslední práce zde souvisí s ověřováním bilančních zásob na Sn-W rudy ve druhé polovině 20. století.

Komplexy důlních děl dolu Jeroným jsou vyraženy v endokontaktu krušnohorských žul masívu Krudum, v jeho jižní části při kontaktu s nadložními biotitickými a dvojslídnyými pararulami různě intenzivně migmatizovanými a granitizovanými. Tvořeny jsou vydobytými komorami propojenými chodbami vyraženými v biotitické žule ve sklonu ložiska 20 až 45° k jihu (obr. 2 a 3). S povrchem komunikují prostřednictvím závalů vydobytých komor nebo šachtic. Mocnost nadloží činí na výchozu ložiska 2,0 m, v úrovni odvodňovací štolý až 50 m. Žuly jsou různě alterované, postižené postmagmatickými přeměnami (sericitizace, hematitizace, greisenizace), puklinovým systémem horninového masívu, tektonickými poruchami a žilnými strukturami. Předmětem těžby byl impregnovaný kasiterit v greisenizovaných žulách (metasomatické zrudnění), podřízeně drobné žilky a sledované žilné struktury. Zrudněné zóny v žulách (greiseny) tvoří v příkontaktní zóně několik paralelních poloh, které byly předmětem exploatace a předurčovaly způsob rozfárání ložiska (obr. 3),

INTRODUCTION, BRIEF CHARACTERISTICS

The location is 6km from the town of Krásno in the direction of Sokolov. The Jeroným mine was excavated mainly in the 16th century during the period of the greatest expansion of tin ore mining in our territory (Fig. 1). Mining took place here much earlier, already from the 13th century by panning of tin secondary deposits, before our ancestors moved on to mining primary deposits. The age of the underground chambers is proven from the dating of the old timber to the 15th and 16th centuries. Mining took place here with interruptions over the course of 400 years, and the last works here are related to the verification of reserves of Sn-W ores in the second half of the 20th century.

The Jeroným mine complex is excavated at contact with the Krušné Hory granites of the Krudum massif, in its southern part at the contact with the overlying biotite and two-mica paragneiss, variously migmatized and granitized. They are formed by excavated chambers connected by corridors excavated in biotite granite at an inclination of 20 to 45° to the south (Figs. 2 and 3). They communicate with the surface through the collapse of excavated chambers or shafts. At the deposit outcrop, the thickness of the overburden is 2.0m, up to 50m at the level of the drainage gallery. The granites are variously altered, affected by post-magmatic transformations (sericitization, hematitization, greisenization), fracture system of the rock mass, tectonic disturbances and vein structures. The object of mining was impregnated cassiterite in greisenized granites (metasomatic ore), subordinate small



zdroj: SG Geotechnika, Olišar P. 2023 source: SG Geotechnika, Olišar P. 2023

Obr. 1 Schéma podzemí dolu Jeroným
Fig. 1 Scheme of the Jeroným mine

tn. nepravidelné komorové dobývání s ponechanými mezikomorovými pilíři kritických parametrů.

Poté co byla vyčerpána sekundární ložiska Sn rud (rýžoviště), byli naši předchůdci nuceni hledat primární ložisko na jeho výchozu, které těžili nejprve povrchoвым způsobem – odřez, lom, povrchové dobývky, následně způsobem hlubinným. Postupně se zahluhovali do horninového masivu k ložisku prostřednictvím sledných úpadnic (chodbic), svislých nálezných a těžních šachet (pinek) a horizontálních průzkumných štol. Tyto sledné chodby a vyhledávací štoly byly vyraženy ručním způsobem, pouze pomocí mlátka a želízka v úsporném profilu až $0,6 \times 1,2$ m (š $\times$ v). Při ověření zrudnění byly tyto chodby a štoly rozšířeny pro těžbu užitkové složky rozptýlené v horninovém masivu až do současné podoby vytěžených komor tzv. šířením (obr. 4). K rozpojování bylo použito v nejstarších částech podzemí pouze mlátka a želízka, v těžebních komorách se kromě toho uplatnila kombinace s žárovou metodou *sázení ohně* (obr. 2, 4) [1]. V nově objevených částech dolu byly v roce 2022 zpozorovány na stěnách a stropě chodbic ručně vrtané maloprofilové vývrty s jílovou

veins and main vein structures. Mineralized zones in granites (greisen) form several parallel positions in the near-contact zone, which were the subject of exploitation and determined the way stopping the deposit (Fig. 3), i.e. irregular room-and pillar mining.

After the secondary Sn ore deposits (panning fields) were exhausted, our predecessors were forced to look for the primary deposit at its outcrop, which they excavated first in open-pit mining – cutting, quarrying, strip mining, then by underground mining. They gradually excavated into the rock mass to the deposit through winzes (corridors), vertical prospect and winding shafts (pinkas) and horizontal exploratory galleries. These winzes and exploratory galleries were excavated by hand mining using only a hammer and iron in an economical profile of up to 0.6×1.2 m (w $\times$ h). During the verification of the mineralization, these corridors and galleries were widened for the extraction of the utility component scattered in the rock mass up to the current shape of the mined chambers by the so-called corridors expansion (Fig. 4). In the oldest parts of



foto Přibil M. photo Přibil M.

Obr. 2 Příklad rozfárání ložiska, komorové dobývání s navazujícími důlními díly

Fig. 2 An example of deposit mining, chamber mining with subsequent mine workings



foto Přibil M. photo Přibil M.

Obr. 3 Vytěžená zrudněná poloha, SDDII

Fig. 3 Excavated mineralized deposits, SDDII

ucpávkou a stopami po střelném prachu. Jedná se o dochované unikátní místo přechodu z ručního rozpojování na rozpojování pomocí trhačích prací. Trhačí práce černým prachem byly poprvé na světě komisionálně provedeny roku 1627 v Banské Štiavnici a znamenaly významnou změnu v procesu ražby a dobývání. Plně se využívaly až v 18. století [zdroj: Národní technické muzeum Praha]. Na základě řady pozorování v dole lze předpokládat, že ne všechny blokovité závaly zde vznikly překročením pevnostních parametrů ponechaných mezikomorových pilířů kritických rozměrů, ale byla zde uplatněna i dobývací metoda *těžby na zával*.

METODY PRŮZKUMU PODZEMÍ

V důsledku požáru města Čistá (Lauterbach, od roku 1551 královské horní město) v roce 1772, nejsou dochovány žádné písemné materiály k historickému dolu, vyjma části opuštěného důlního díla (ODD), kde probíhalo v 60. letech ověřování bilančních zásob Sn-W rud. V průběhu zajišťovacích prací je tak nezbytné provádět systematický průzkum rozsahu poddolování – rozfárání ložiska a nově vznikající mapovou dokumentaci průběžně aktualizovat s novými objevy (obr.1). Kromě klasických geodetických metod

the underground, only a hammer and iron were used for rock disintegration, in addition, a combination with the fire-setting was used in the mining chambers (Fig. 2, 4) [1]. In newly discovered parts of the mine, hand-drilled small-profile boreholes with a clay plug and traces of gunpowder were observed on the walls and ceiling of the corridors in 2022. This is a unique preserved place of transition from manual excavation to blasting. Blasting works with black powder were commissioned for the first time in the world in 1627 in Banská Štiavnica and marked a significant change in the mining and mining process. They were not fully used until the 18th century [source: National Technical Museum Prague]. Based on a series of observations in the mine, it can be assumed that not all collapses were created by exceeding the strength parameters of the chamber pillars of critical dimensions, but the caving method was also applied here.

METHODS OF UNDERGROUND SURVEY

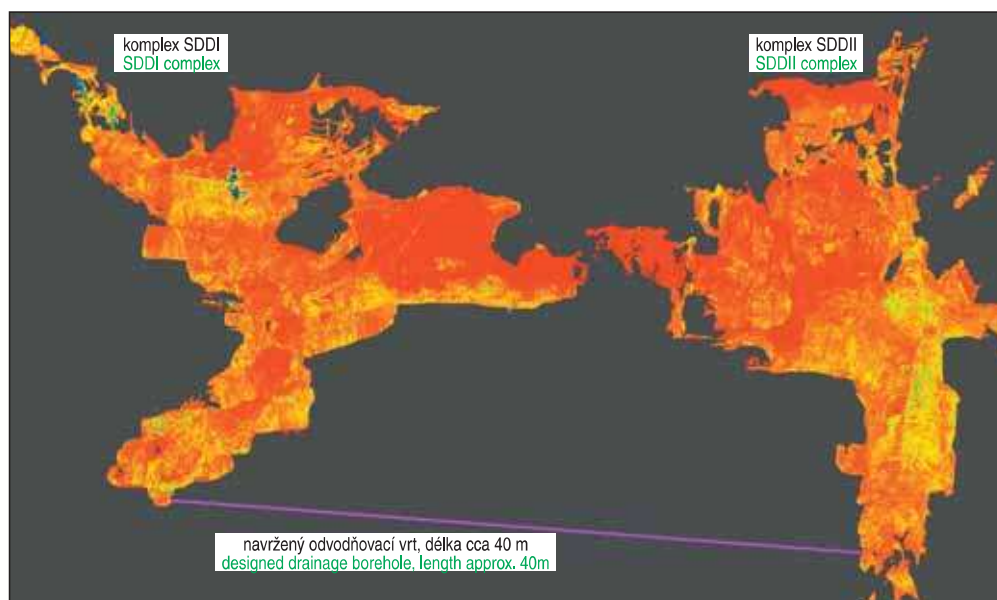
As a result of the fire of the town of Čistá (Lauterbach, since 1551 the royal mining town) in 1772, no written materials about the historic mine have been preserved, except for a part of the abandoned mine workings (ODD), where verification of Sn-W ore reserves took place in the 1960s. In the course of the remediation works, it is therefore necessary to carry out a systematic survey of the extent of underground excavations – the opening of the deposit and to continuously update the newly emerging map documentation with new discoveries (Fig. 1). In addition to classic geodetic methods supplemented by speleological procedures, laser 3D scanning methods of accessible mine shafts have recently been applied, especially when designing the drainage of flooded parts of the mine (Fig. 5), when remediating rock collapses and connecting individual underground spaces separated by collapses (sections, cubature, break-out polygons, 3D models). The creation of the necessary purposeful longitudinal sections in relation to the surface proved to be crucial during the excavation work of the old shafts and their connection to the underground mines and corridors



foto Přibil M. photo Přibil M.

Obr. 4 Komorové dobývání tzv. šířením

Fig. 4 Chamber stoping by so-called "corridors expansion"



zdroj: SG Geotechnika source: SG Geotechnika

Obr. 5 Návrh odvodňovacího vrtu mezi komplexy I a II, svislý pohled na model získaný 3D skenováním

Fig. 5 Design of the drainage borehole between complexes I and II, vertical view of the model obtained by 3D scanning

doplňených speleologickými postupy jsou v poslední době uplatňovány metody laserového 3D scanování přístupných důlních děl, a to zejména při navrhování a projektování odvodnění zatápějících se částí dolu (obr. 5), při zmáhání závalů a propojování jednotlivých podzemních objektů oddělených právě závaly (řezy, kubatura, prorážkové polygony, 3D modely). Tvorba nezbytných účelových podélných řezů ve vztahu k povrchu se při zmáhacích pracích starých šachet a jejich napojení na podzemní dobývku a chodby vyražené ve více úrovních ukázala jako klíčová. V současné době se pracuje na využití jednotlivých prostorových 3D modelů podzemí pro vyhledávání původních propojení, dnes nepřístupných, mezi jednotlivými objekty bez nutnosti razit nová díla v historickém dole. V roce 2008 byl důl prohlášen za národní kulturní památku (NKP) důl Jeroným a veškeré práce zde probíhají pod dohledem Národního památkového ústavu (NPÚ) v Lokti.

Z nepřímých průzkumných metod byl v roce 2021 aplikován soubor geofyzikálních metod pro ověření stavu podloží komunikace a plánované modernizace silnice II/210. Nasazena byla zejména elektrická odporová tomografie, mělká refrakční seismika, georadar a mikrogravimetrie (obr. 6). Pro vyhledávání zasypaných starých šachet se osvědčily sondy dynamické penetrace, které byly využity rovněž i k ověření typu a kvality zásypů šachty, stanovení jejich hloubky a k přesné lokalizaci profilu pro založení úvodního rámu při jejich zmáhání. K podrobnému průzkumu pak byly použity přímé metody ověření geotechnického stavu důlních děl a okolního horninového masivu – fyzická prohlídka, plnoprofilové vrty a práce prováděné hornickým způsobem, to vše s geotechnickým dozorem a průběžným posuzováním stability masivu [2], [3]. Nedílnou součástí byl geotechnický monitoring uplatněný do stávajících důlních děl – konvergenční měření v komorách, strunové deformetry v mezikomorových pilířích, tlakové podušky mezi nově budovanými podpěrnými pilíři a stávajícím výrubem, 2D a 3D dilatometry na puklinách, tyčové extenzometry ve vrtech. Při zmáhání závalů mezi jednotlivými komplexy byly nasazeny v rámci observační metody strunové dilatometry na puklinách mezikomorového pilíře s online přenosem naměřené deformace pro řízení postupu a způsobu zajišťování závalu a zajištění stability nadloží komor. Na povrchu se uplatnily metody přesné nivelace povrchu komunikace.

excavated at several levels. Currently, work is being done on the use of individual spatial 3D models of the underground to search for original connections, today inaccessible, between individual spaces without the need to excavate new openings in the historic mine. In 2008, the mine was declared a national cultural monument (NKP) Jeroným mine, and all work is carried out here under the supervision of the National Monument Institute (NPÚ) in Loket.

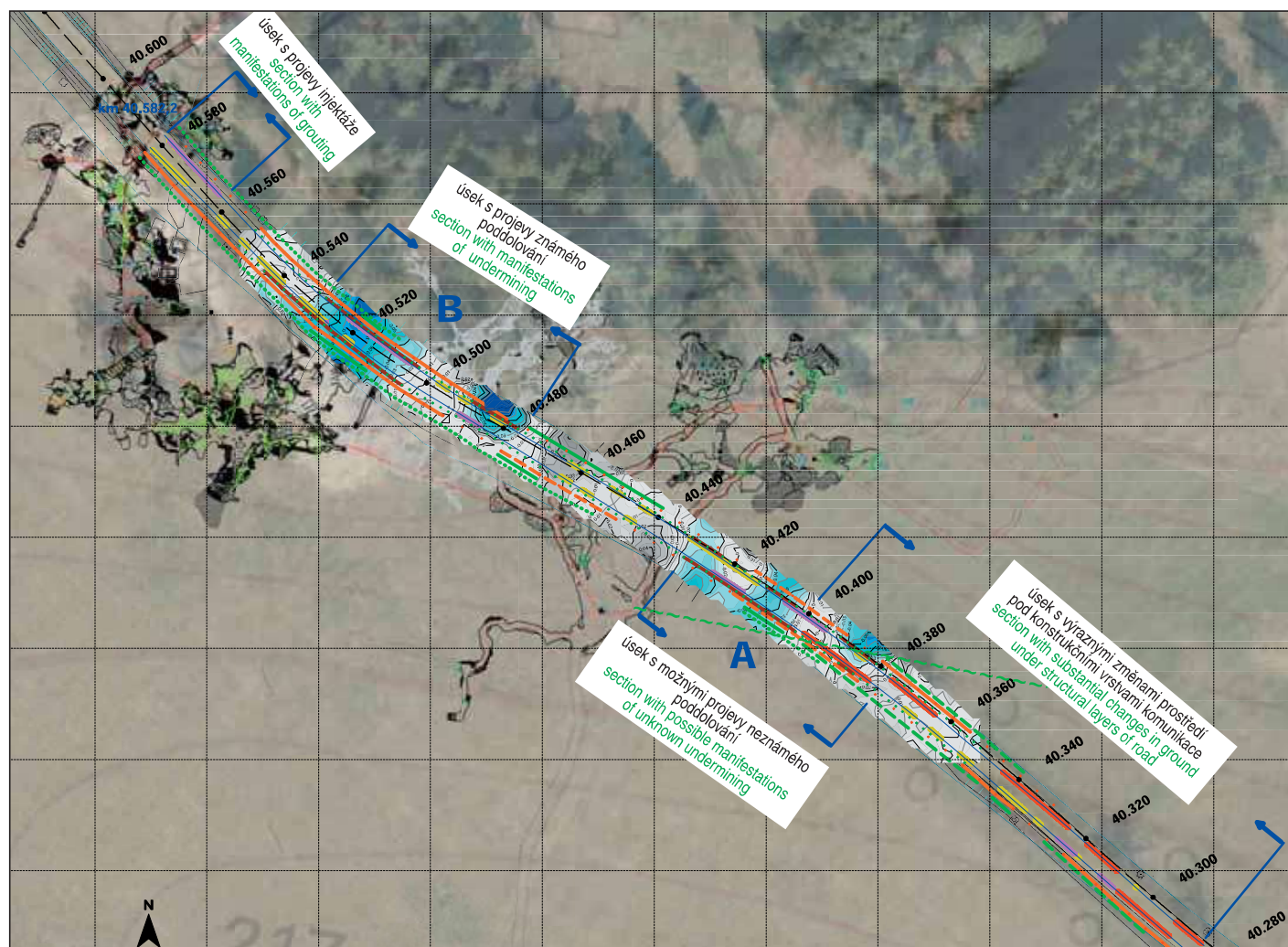
Of the indirect survey methods, a set of geophysical methods was applied in 2021 to verify the state of the subsoil of the road and the planned modernization of road II/210. In particular, electrical resistivity tomography, shallow seismic refraction, georadar and microgravimetry were used (Fig. 6). Dynamic penetration probes have

proven themselves for the search of filled-in old shafts, which were also used to verify the type and quality of the shaft backfills, determine their depth and to precisely locate the shaft profile for placing the initial frame during their excavation. Direct methods of verifying the geotechnical condition of the mine and the surrounding rock mass were then used for the detailed survey – physical inspection, borehole drilling and work carried out in a mining manner, all with geotechnical supervision and continuous assessment of the rock stability [2], [3]. An integral part of investigation was geotechnical monitoring which was applied to existing mine shafts – convergence measurements in chambers, string deformers in chamber pillars, pressure load cells between the newly built support pillars and the existing excavation walls, 2D and 3D dilatometers in fissures, rod extensometers in boreholes. When coping with collapses between individual mine complexes, string dilatometers were installed as part of the observation method of the cracks in the chamber pillar with online transmission of the measured deformation to control the progress and the method of collapse stabilization and ensuring the stability of the overburden above the chambers. On the surface, methods of precise leveling of the road surface were applied.

RENEWED MINE ACCESSES

Old shaft by the road location

One of the restored and remediated historical shafts is the Stará Jáma discovered during the excavation of the Nová Jáma shaft as part of ensuring the second entrance to the underground complex (Fig. 1). The remediation of the cave-in in a chamber led to the discovery of the Stará Jáma shaft, located approximately 7m from the shoulder of road II/210 Sokolov–Krásno. After carrying out exploration work on the surface and underground, the remediation documentation of the mouth and body of the shaft was prepared, taking into account the historical origin and in accordance with the procedures of the 16th century, supplemented by modern reinforcement methods. The mouth of the shaft was lined with local stone to a depth of 5.0m, the shaft body was supported with stone walls in places of the collapse initiation. The equipment of the pit is wooden with a mining and climbing areas with wooden ladders (Fig. 7). The depth is 24m, while



zdroj: SG Geotechnika source: SG Geotechnika

Obr. 6 Výsledky geofyzikálního průzkumu podloží silnice, poddolování
Fig. 6 Results of the geophysical survey of road subsoil, undermining

OBNOVENÁ PŘÍSTUPOVÁ DŮLNÍ DÍLA

Stará šachta u silnice

Jednou z obnovených a zajištěných historických šachet je Stará jáma objevená při hloubení Nové jámy v rámci zajištění druhého vstupu do podzemního komplexu (obr. 1). Zmáháním závalu v komoře došlo k objevu Staré jámy nacházející se cca 7 m od krajnice silnice II/210 Sokolov–Krásno. Po provedení průzkumných prací na povrchu a v podzemí byla zpracována dokumentace zajištění ohlubeň a stvolu jámy s přihlédnutím k historickému původu a v souladu s postupy 16. století, doplněnými moderními sanačními metodami. Ohlubeň jámy byla vyzděna z místního kamene do hloubky 5,0 m, stvol jámy byl zajištěn kamennou obezdívkou v místech navazujícího závalu. Výstroj jámy je dřevěná s těžním a lezným oddělením s dřevěnými žebříky (obr. 7). Hloubka činí 24 m, přičemž profil při povrchu je rozměrů $2,5 \times 1,5$ m a směrem do hloubky k navazující komoře se postupně zmenšuje na $1,2 \times 0,8$ m. Zachování původního profilu znamenalo přizpůsobení výstroje jámy skutečným rozměrům. Ze stvolu je vyraženo několik průzkumných rozrážek v úsporném profilu zakončených čelbou, přičemž v intervalu 8,0 až 12,5 m navazuje stvol na zavalenou komoru komunikující s povrchem. Kromě kamenné vyzdívky stěny jámy byl zával komory zabezpečen stabilizační stěnou z mikropilot po celé východní a jižní stěně, v počtu 14 ks, v délce 16 m, kotvených v pevné počvě komory v délce 2 až 3 m. Mikropiloty a zával byly stabilizovány cementovou injekční směsí s řízenou spotřebou.

the profile at the surface is $2,5 \times 1,5$ m and gradually decreases with the depth to $1,2 \times 0,8$ m towards the chamber connection. Preserving the original profile meant adapting the shaft equipment to the actual dimensions. Several exploratory galleries of an economical size are excavated from the shaft, while at an interval of 8.0 to 12.5 m, the shaft connects to a caved-in chamber which communicates with the surface. In addition to the stone lining of the shaft wall, the caved-in chamber was remediated by a stabilizing wall of micropiles along the entire eastern and southern walls, with 14 pieces, 16 m long, embedded in the solid ground of the chamber bottom for a length of 2 to 3 m. The micro-piles and the cave-in were stabilized with a cement injection mixture with controlled consumption volume. The body and the mouth of the shaft were stabilized as well as the subsoil of the road in the zone of influence.

Collapse of the old shaft SDDII (KŠ1)

In the fall of 2017, the surface above the historic mine complex discovered in 2014 and documented in the following years (old mine shafts (SDD), area II) collapsed. The sinkhole, 5.0 m in diameter and 2.0 m deep, was subject to further exploration using dynamic penetration probes and one exploratory borehole. The results verified the existence of a vertical mine shaft 56 m deep. According to the newly compiled underground documentation, this shaft provides access to ore extractions at least at three depth levels representing mined-out mineralized positions. Subsequently, remediation work began in the sinkhole in order to stabilize and



Obr. 7 Stará šachta u silnice po vystrojení v duchu 16. století
Fig. 7 An old shaft by the road after being supported by the methods of the 16th century

Stvol a ohlubeň jámy byly stabilizovány a podloží silnice v pásmu vlivu bylo zajištěno.

Propad staré šachty SDDII (KŠ1)

Na podzim roku 2017 došlo k propadu povrchu nad komplexem historických důlních děl objevených roku 2014 a v následujících letech zdokumentovaných (starých důlních děl (SDD), oblast II). Propad o průměru 5,0 m a hloubce 2,0 m byl podroben dalšímu průzkumu pomocí sond dynamické penetrace a jedním plnoprofilovým vrtem. Výsledky ověřily existenci svislého důlního díla hlubokého 56 m. Dle nově provedené dokumentace podzemí toto dílo zpřístupňuje dobývku minimálně ve třech hloubkových úrovních reprezentujících vydobyté zručněné polohy. Následně započaly zmáhací práce v propadu za účelem jeho stabilizace a obnovení historické šachty (pracovně označené KŠ1). Geotechnický průzkum potvrdil velmi složité geotechnické poměry (závalové prostředí) s neurčitou polohou profilu šachty. Projekt navrhl vyzmáhání propadu šachty v profilu $2,6 \times 1,6$ m pomocí hnaného pažení union, s lezným a těžním oddělením, zavěšenou ocelovou důlní výztuží K21 v kroku 1,0 m na ohlubňovém rámu. Ten je zabudován v armované betonové ohlubňové desce o rozměrech $6,0 \times 5,0$ m, tloušťky 0,55 m, založené 2,0 m pod stávající úroveň terénu, tedy pod trychtýřem propadu. Předpokladem bylo realizovat průzkumné dílo za účelem ověření geotechnických poměrů propadu, původní šachty a skutečné hloubky skalního masivu v místě. Šachty v okolí zastihují skalní masiv většinou do hloubky 5,0 m. Ve skalním masivu mělo být pokračováno v duchu postupů 16. století dřevěnou výztuží kotvenou ve stávajícím horninovém masivu.

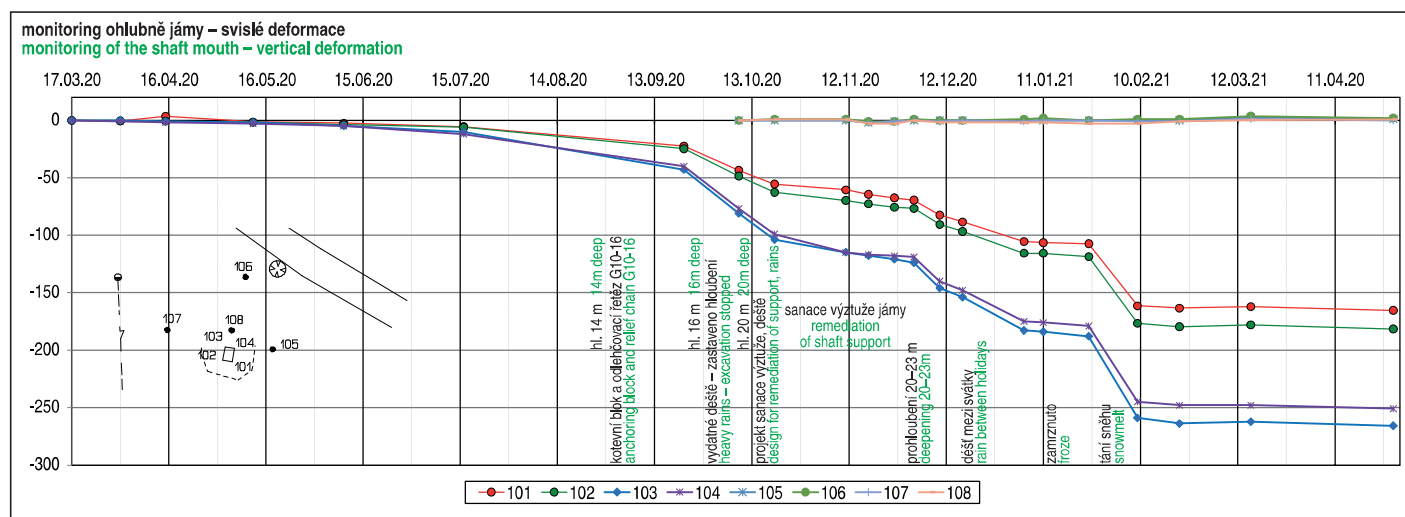
V průběhu prací se zjistilo, že jižní stěna od hloubky 11 m je tvořena skalním masivem původní jámy. Pro dosažení této hloubky již bylo nezbytné závalový zeminový materiál za pažením (zemina G3/S3-G5 s balvany) lokálně stabilizovat chemickou injektáží polyuretany. Ve 14 m se objevil i jihovýchodní roh původní jámy. Severní a západní bok jámy stále tvořil závalový materiál. Začalo tedy docházet k nerovnoměrnému sedání povrchu železobetonové desky ohlubně 25 až 40 mm (obr. 8). Na základě doporučení statika byla provedena opatření spočívající v odlehčení zatížení od důlní výztuže. Severní stěna a severozápadní roh jámy byly podchyceny v hloubce 13 m vysokopevnostním vázacím řetězem G10-16 zakotveným na povrchu v betonovém bloku. V kombinaci s odlehčovacími věnci byly spodní rámy výztuže opřeny o injekční zavrtávací tyče R32/250, zakotvené a zainjektované do stávajícího horninového masivu [5]. Po realizaci těchto opatření se pokračovalo v hloubení

restore the historic shaft (labeled KŠ1). The geotechnical survey confirmed very complex geotechnical conditions (collapse area) with an undetermined position of the shaft profile. The project proposed to restore collapsed shaft by excavating a profile of 2.6×1.6 m supported by steel-sheet forepoling (Union sheets), with a climbing and mining section, U-channel mine support steel ribs K21 suspended on a shaft mouth frame in a round length of 1.0m. The frame is built in a reinforced concrete slab with dimensions of 6.0×5.0 m, thickness of 0.55m, embedded 2.0m below the existing ground level, i.e. below the sinkhole funnel. The premise was to carry out survey work in order to verify the geotechnical conditions of the sinkhole, the original shaft and the actual depth of the bedrock at the site. The shafts in the vicinity enter the rock mass mostly to a depth of 5.0m. In the rock mass it was to be continued in the spirit of the 16th century procedures with wooden timber embedded in the existing rock mass.

In the course of works, it was discovered that the southern wall from a depth of 11m is formed by the rock mass of the original shaft. In order to achieve this depth, it was already necessary to locally stabilize the backfill material behind the lagging (G3/S3-G5 of gneiss character with boulders) by chemical injection of polyurethane. At 14m, the southeast corner of the original shaft was also encountered. The north and west sides of the shaft were still made up of collapsed material. Therefore, uneven settlement of the surface of the reinforced concrete slab with a depression of 25 to 40mm began to occur (Fig. 8). Based on the recommendations of a structural engineer, measures were taken to relieve the load from the steel rib support. The north wall and northwest corner of the shaft were underpinned at a depth of 13m with a high-strength G10-16 tie chain anchored to the surface by a concrete block. In combination with relief rings, the lower steel support ribs were supported by injected borehole bars R32/250, anchored and injected into the existing rock mass [5]. After the executing these measures, excavation of the pit continued. At 16m, the southwestern corner of the original pit also began to show up.

At the beginning of October, after heavy rains, work had to be stopped when a depth of 20m was reached. Excessive vertical uneven deformation of the horizontal steel ribs from a depth of 4.0m (+24mm, +41mm), breakage of 3 hinges at the place of the bolt of the friction coupling of the mining section on the north wall and significant bulging of the hinges towards the shaft between the depths of 5 to 13m. During the development of the design and the construction of the necessary measures, unsuitable climatic conditions with new precipitations contributed to the further development of deformation (+14mm, +23mm) and rupture of the fourth hinge as well. Total deformation reached 63mm on the southern and 104mm on the northern wall. The course of the deformation is evident from the graph of the depression settlement monitoring (Fig. 8). At the end of October, remedial work was started according to the design of the structural engineer – strengthening and supplementing the hinges of the horizontal steel ribs along the entire depth of the shaft, adding steel spacers in the corners between the horizontal steel ribs against uneven settlement and strengthening with vertical waling beams along the entire height of the shaft by mine channel steel ribs K21 in the mining section (Fig. 9).

In the course of works and thanks to favorable climatic conditions, the trend of the deformation development of was mitigated. The development resumed after the pit was deepened to a depth of 23m, where there was the planned connection to the collapsed crosspassage and the adjacent mined-out chambers of the Jeroným mine complex. Monitoring carried out at the shaft mouth



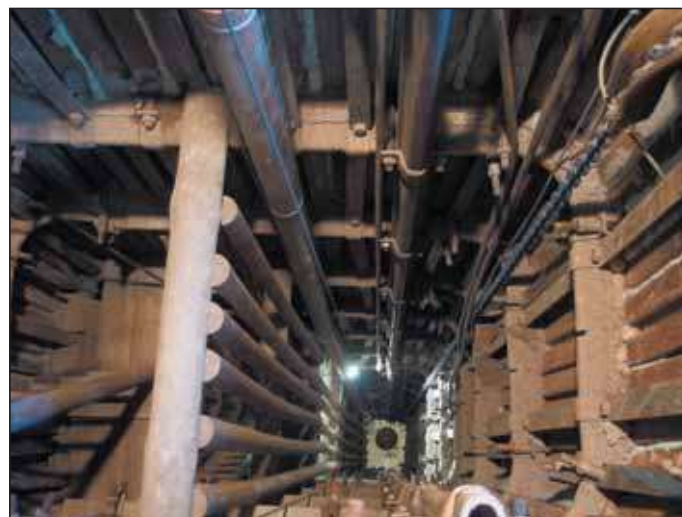
zdroj: SG Geotechnika source: SG Geotechnika

Obr. 8 Monitoring sedání ohlubně staré šachty KŠI

Fig. 8 Subsidence monitoring of shaft mouth of the old shaft KŠI

jámy. V 16 m se začal objevovat i jihozápadní roh původní jámy. Začátkem října, po vydatných deštích, musely být práce při dosažení hloubky 20 m zastaveny. Byly zjištěny nadměrné svislé nerovnoměrné deformace vodorovných rámu důlní výztuže od hloubky 4,0 m (+24 mm, +41 mm), přetržení 3 ks závěsů v místě šroubu třmenové spojky těžního oddělení na severní stěně a místy výrazné vyboulení závěsů směrem do jámy mezi 5. až 13. m. V průběhu zpracování návrhu sanace a realizace nezbytných opatření přispěly nevhodné klimatické poměry novými srážkami k dalšímu rozvoji deformací (+14 mm, +23 mm) a přetržení i čtvrtého závěsu. Celkové deformace dosáhly 63 mm na jižní a 104 mm na severní stěně. Průběh deformace je zřejmý z grafu prováděného monitoringu sedání ohlubně (obr. 8). Na konci října byly zahájeny sanační práce dle návrhu statika – zesílení a doplnění závěsů vodorovných rámu po celé výšce jámy, doplnění ocelových rozpěr v rozích mezi vodorovnými rámy proti nerovnoměrnému sedání a zesílení svislými převážkami po celé výšce jámy důlním profilem K21 v těžním oddělení (obr. 9). V průběhu sanačních prací a díky příznivým klimatickým poměrům došlo ke zmírnění trendu vývoje deformací. K jejich rozvoji opět došlo po prohloubení jámy na hloubku 23 m, do míst plánovaného napojení zavalené propojky a navazujících vydobytých komor komplexu dolu Jeroným. Monitoring prováděný na ohlubni jámy i v následujícím období prokázal svislé deformace důlní výztuže v závislosti na srážkách a tání sněhové pokrývky (obr. 8). Z tohoto důvodu byly v následujících letech realizovány sanační stabilizační injektáže závalového materiálu z povrchu, prohloubení jámy do úrovně skalního masivu a stabilizace stvolu jámy trvalou výztuží ze železobetonu s odlehčovacím věncem kotveným svorníky v úrovni ověřeného skalního masivu [5]. Dnes jsou tyto práce dokončeny. Betonový povrch tvoří strukturální matrice ve vzoru dřevo. Jáma je rozdělena na lezné a těžní oddělení, vybavena dřevěnými žebříky a povaly. Zavalená propojka do navazujících komor je vyzmáhána hornickým způsobem a zajištěna primární i trvalou výztuží v místě napojení na jámu. V průběhu hloubení bylo využito sond dynamické penetrace k ověřování závalu jámy na jejím dně a vyhledání skalního masivu pro zakotvení trvalé výztuže jámy (obr. 10). Při návrhu zmáhání propojky se využilo laserového 3D scanování propojovaných objektů pro projekt a pro stanovení potřebného výkazu výměr. Jáma dnes slouží k větrání zpřístupněného komplexu podzemních prostor, dopravě materiálu do podzemí, odtěžování závalového materiálu z navazujících podzemních prostor, provádění průzkumu a v neposlední řadě, v případě potřeby, jako úniková cesta pro návštěvníky podzemí v době turistické sezóny.

in the following period also demonstrated vertical deformation of the mine steel ribs reinforcement depending on precipitation and melting of the snow cover (Fig. 8). For this reason, in the following years, stabilization grouting of the collapsed material was performed from the surface, deepening of the shaft to the level of bedrock, and stabilization of the shaft with permanent reinforced concrete lining with a support collar anchored with bolts at the level of the confirmed rock level were realized [5]. Today these works are completed. The concrete surface has imprint of a wood pattern. The pit is divided into climbing and mining sections, equipped with wooden ladders and timber wood. The collapsed crosspassage connected to the chambers is mined and supported with primary and permanent lining at connection to the shaft. During excavation, a dynamic penetration probe was used to verify bottom level of the collapse and to locate the rock mass for anchoring the shaft permanent lining (Fig. 10). During the design of the crosspassage remediation, laser 3D scan of the connected mined spaces was used to determine the necessary dimensions. Today, the shaft is used to ventilate the accessible complex of underground spaces, to transport material underground, to muck collapsed material from adjacent underground spaces, to carry out research and finally, if necessary, to serve as an escape route for underground visitors during the tourist season.



Obr. 9 Zmáhání staré šachty v propadu, stav po sanaci výztuže KŠI

Fig. 9 Remediation of the old shaft in the collapsed area, situation after remediation of the KŠI support

Těžní šachta SDDIII (KŠ2)

V rámci mezinárodní spolupráce Česko-bavorského geoparku vznikl projekt Žula a voda [4], který se zaměřil na cíle propojení jednotlivých komplexů dolu stávajícími neprůchodnými koridory v žulovém masivu postiženém závaly. Z předchozích průzkumů byly známy a zmapovány komplexy SDDII, SDDIII a objeven propojovací koridor v délce 80 m (na obr. 1 je již součástí SDDIII). Je tvořen dvěma průzkumnými štolami úsporného profilu, žilnou a úzkou dobývkou, závalem staré šachty a dvěma závaly na křížení štol a chodby s navazující zavalenou komorou. Klíčové pro zpřístupnění a zajištění tohoto spojovacího koridoru bylo vyzmáhání a obnovení staré šachty (pracovně označené KŠ2), která se nacházela přímo na trase v místě zalomení a v polovině vzdálenosti spojovacího koridoru. Představovala ideální polohu pro těžní šachtu (dopravu materiálu a odtěžování závalů z trasy). Na povrchu byla její poloha rovněž výhodná pro snadný přístup techniky a odklizu vytěženého materiálu mezi povrchovými dobývkami a ostatními pínkami.

Sondy dynamické penetrace posloužily k ověření šachty, trychtýřovitého tvaru v zóně zvětrání, přesného profilu jámy, charakteru zásypu/závalu a samotné hloubky. Na základě těchto výsledků byl vytyčen úvodní ohlubňový rám a vytvořeny předpoklady pro zajištění ohlubně. Vzhledem k historické hodnotě a vhodným geotechnickým podmínkám byly zvoleny hornické postupy 16. století s dřevěnou výztuží a výstrojí jámy s lezným a těžním oddělením do konečné hloubky 19 m [1]. Profil původní jámy na povrchu činil $2,4 \times 2,2$ m, světlý profil vystrojení $1,7 \times 1,2$ m. Dřevěná výztuž je kotvená v původních nebo v nově vytvořených kapsách horninového masivu. Původní profil šachty je směrem do hloubky nepravidelný a zmenšuje se. Vyražen je v navětralé a alterované žule. Rámy jsou osazeny v nepravidelných intervalech na vhodných místech s úpravou pro lůžka. V první polovině jámy nebylo použito pažení, vyjma ohlubně (obr. 11). Ta je na ústí v místě trychtýřovitého tvaru plně zapažená fošnami do hloubky 3,0 m a zajištěna betonem s výztuží. Do masivu je kotvená svorníky ve třech řadách. V druhé polovině hloubky šachty se již nachází rozfárání do navazujících komor severním a severovýchodním směrem, které byly ze 2/3 zaplněny závaly komunikujícími místy s povrchem. Šachta se v místě komory rozšířila na 4 až 5 m a zajišťování závalu v průběhu hloubení představovalo technický a časový problém. Zmáhání probíhalo v kroku 0,8 až 1,0 m za pomoci ručně předrážených jehel nebo jejich zarážením sbíjecími kladivy v rozteči 10 až 15 cm vzhledem k písčito-balvanitému charakteru závalu. Ocelové jehly byly stabilizovány v celé šíři komory rovnými profily důlní výztuže K21, zakotvené v bocích



Obr. 10 Průzkumné sondy dynamické penetrace v jámě KŠ1
Fig. 10 Exploration probes of dynamic penetration in the KŠ1 shaft

Mining shaft SDDIII (KŠ2)

As part of the international cooperation of the Czech-Bavarian Geopark, the Granite and Water project [4] was created, which focused on connecting individual mine spaces through existing impassable corridors in the granite massif affected by collapses. From previous surveys, the SDDII, SDDIII complexes were known and mapped, and an 80m long connecting corridor was discovered (in Fig. 1, it is already part of SDDIII). It is made up of two exploratory galleries of an economical profile, a narrow vein stope, collapsed old shaft and two collapses at the crossing of galleries and a corridor connected to caved-in chamber. The key to making this connecting corridor accessible and safe was the recovery and restoration of the old shaft (designated KŠ2), which was located directly on the route at the point of the bend and halfway through the connecting corridor. It represented an ideal location for a mining shaft (transportation of material and removal of muck from the route). Its surface location was also advantageous for easy access of equipment and removal of excavated material between surface extraction pits.

Dynamic penetration probes were used to verify the shaft, the funnel shape in the weathering zone, the exact profile of the shaft, the nature of the backfill/collapsed material and the depth. Based on these results, the initial support frame at the shaft mouth was laid out and prerequisites for remedying the shaft top were created. Due to the historical value and suitable geotechnical conditions, 16th century mining methods were chosen with wooden support and shaft equipment with climbing and mining sections to a final depth of 19m [1]. The profile of the original shaft on the surface was 2.4×2.2 m, the clearance profile was 1.7×1.2 m. The wooden support is anchored in the original or newly created pockets of the rock mass.



Obr. 11 Stvol staré šachty po vyzmáhání a vystrojení v duchu 16. století, KŠ2
Fig. 11 Old shaft after remediation and equipment restoration by the methods of the 16th century, KŠ2

jámy do vytesaných lůžek opatřených svorníky a betonovou mazaninou. Stěna jámy v místě závalu byla dodatečně zapažena dřevěnými fošnami za nově osazené dřevěné rámy důlní výztuže. Následně byly vyzmáhány jámové závaly ve směru spojovacích koridorů a jáma mohla být využita k jejich obnově do původního profilu, ve směru do komplexu SDDIII v délce 40 m a ve směru do komplexu SDDII v délce 20 m. V současné době jáma slouží k přirozenému odvětrání jednotlivých komplexů, dopravě materiálu, odtěžování rubaniny z podzemí a v sezóně k výstupu návštěvníků podzemí z tzv. adrenalinové naučné prohlídkové trasy.

SPOJOVACÍ KORIDORY MEZI KOMPLEXY DOLU

Průzkumné práce v podzemí objevily potřebné propojky mezi komplexy důlních děl bez nutnosti ražby nových spojení v historickém dole a tím znehodnocení národní kulturní památky. Komplex starých důlních děl SDDI byl objeven v roce 1982, SDDII v létě 2014 a SDDIII na podzim 2014 (obr. 1). Jsou odděleny závaly nebo kombinací závalů a tvořeny nestabilními či neprůchodnými průzkumnými díly úsporných profilů vzniklých při vyhledávání zrudněných poloh. Komplex SDDI byl nově zajišťován převážně dozdiváním, přizdiváním stávajících porušených nebo zeslabených mezikomorových pilířů kritických parametrů a výstavbou nových podpěrných kamenných pilířů podfáraných horninových bloků. Při odtěžování závalů a splavených sedimentů v komorách byl při jejich odlehčování využit monitoring výrubu komor a jejich mezikomorových pilířů. Zároveň bylo řešeno zatápní spodních částí dolu povrchovou vodou prosakující skrze závaly komunikující s povrchem. Komplex SDDI je pro návštěvníky dolu zpřístupněn novou štolou a šachtou od roku 2013.

Komplex SDDII byl objeven při vyzmáhání jedné z úsporně vyražených průzkumných štol. Vede z komory, v níž bylo následně objeveno dřevěné potrubí pro čerpání důlních vod a hlouběji na stěně geodetická značka *štufa 1629* (letopočet postupu prací v dole). Nevyhovující profil spojovací chodby 0,7 m², výšky 1,2 m a šíře 0,6 m vedl ke vzniku projektu pro nalezení a vybudování nového vyhovujícího spojení. Existovalo pouze jediné řešení, a to vyzmáhání starého závalu propadu tzv. Velké pinky. Na povrchu se projevuje trychtýřovitým propadem o půdorysných rozměrech 22,0 × 15,0 m a hloubce 5,0 m. Vhodné místo ke zmáhání závalu bylo vytipováno v okrajové části komory s alespoň jednou pevnou skalní stěnou, o kterou se zapřely a do ní ukotvily uzavřené rámy důlní ocelové výztuže K21 lichoběžníkového profilu. Za pomoci předrážného pažení union bylo možné zával oddělit od budovaného průchozího koridoru profilu 3,6 m². Krok výstavby důlní výztuže byl stanoven na 0,8 m s plným pažením čelby fošnami v horizontálním členění, tzv. dělenými čilkami. Zmáhání závalu probíhalo v hloubce cca 30 m. Přestože bylo načasováno na červen, do období s vhodnými klimatickými poměry, došlo v pátek po deštích a opuštění pracoviště ke ztekucení jílovito-písčitého materiálu ze závalu v nadloží a k jeho přetečení přes zapaženou čelbu do již vyzmáhaného úseku v objemu 12 m³. Získané zkušenosti byly zapracovány do technologického postupu zmáhání s důrazem na kvalitní a stabilní zapažení čelby, zejména v horní části a zajištění proti destrukci při přívalu ztekucených materiálů závalu. V průběhu provádění prací a zmáhání závalu byl zajištěn kontinuální geotechnický monitoring přilehlého porušeného a zeslabeného mezikomorového pilíře, který měl být jednostranně odlehčen v důsledku odtěžení závalu v mocnosti až 2,5 m. Na odlučných trlinách mezikomorového pilíře byly osazeny strunové dilatometry s online přenosem na webovou aplikaci. V současné době je spojovací koridor mezi komplexy SDDI a II zajištěn důlní ocelovou výztuží s ocelovými pažinami union a slouží k prohlídkám navazujících důlních děl.

The original profile of the shaft is irregular and decreases in depth. It is excavated in weathered and altered granite. Frames are fitted at irregular intervals in suitable bedding locations. Support was not used in the first half of the shaft, except for the shaft mouth (Fig. 11). The shaft mouth is in a funnel-shaped area, and it is fully braced with wood lagging to a depth. 3.0m and supported with reinforced concrete. It is anchored to the rock with bolts in three rows. In the second half of the shaft depth, there is already a passage into the chambers in the north and northeast direction, which were 2/3 filled with collapsed material and in places sinkholes communicated with the surface. The shaft widened to 4 to 5m at the chamber, and remedying the collapse during excavation represented a technical and time-consuming problem. Excavation took place in steps of 0.8 to 1.0m with the help of spiles driven manually or with pneumatic hammers at a spacing of 10 to 15cm due to the sandy-boulder nature of the collapsed material.

The spiles were supported across the entire width of the chamber by straight steel channel ribs K21, embedded in the sides of the shaft into carved-out pockets equipped with bolts and concrete mortar. The wall of the shaft at the collapse site was additionally braced with wooden lagging behind the newly installed wooden frames. Subsequently, the shaft collapsed sites in the direction of the connecting corridors were excavated and the shaft could be used for restoration to the original profile, in the direction of the SDDIII complex in a length of 40m and in the direction of the SDDII complex in a length of 20m. Currently, the shaft is used for natural ventilation of the individual complexes, transport of material, mucking from the underground and, in season, for the ascent of underground visitors from the so-called adrenaline educational tour.

CONNECTING CORRIDORS BETWEEN MINE COMPLEXES

Exploration work in the underground discovered the necessary links between the mine complexes without the need to excavate new connections in the historic mine and thereby devalue the national cultural monument. The old mine complex SDDI was discovered in 1982, SDDII in summer 2014 and SDDIII in autumn 2014 (Fig. 1). They are separated by collapses or by a combination of collapses and are formed by unstable or impassable exploratory galleries of economical profiles created during the search for mineralized deposits. The SDDI complex was newly remediated mainly by adding masonry to existing broken or weakened chamber pillars of critical parameters and by construction of new supporting stone pillars made of rock blocks. Monitoring of the chambers walls and their pillars was used during mucking of the collapsed material and floated sediments in the chambers. At the same time, the flooding of the lower parts of the mine by surface water seeping through the collapses and communicating with the surface was solved. The SDDI complex has been accessible to mine visitors through a new tunnel and shaft since 2013.

The SDDII complex was discovered while excavating one of the exploratory galleries. It leads from the chamber, in which a wooden pipe for pumping mine water was subsequently discovered, and deeper on the wall, a geodetic mark of 1629 (date of work progress in the mine). The unsatisfactory profile of the exploratory gallery of 0.7m², height 1.2m and width 0.6m led to a project task to find and build a new suitable connection. There was only one solution, and that was to reclaim the old sinkhole of the so-called Velká Pinka. On the surface, it manifests itself as a funnel-shaped depression with plan dimensions of 22.0 × 15.0m and a depth of 5.0m. A suitable place to remediate the collapse was selected in the peripheral part of the chamber with at least one solid rock wall, against which

O propojovacím koridoru SDDII–III byla již zmínka při obnově těžní šachty. Po vyzmáhání a zajištění tří závalů v trase a obnovení profilů úsporně vyražených chodeb je dnes zakomponován do návštěvnické adrenalinové trasy, která prochází nedotčenými historickými důlními díly z 15.–16. století a zpřístupňuje komplex SDDIII objevený v roce 2014 a zpřístupněný v roce 2023.

OBNOVENÍ ODVODŇOVACÍHO KORIDORU A ODVODŇOVACÍCH ŠTOL

Jedním ze současných cílů projektu na dole Jeroným je zajištění kontrolovaného odtoku důlních vod ze zatápějících se částí dolu a obnova druhé, nově objevené, odvodňovací štoly Barbora. V prvním případě se jedná o komory a chodby zatápějící se v důsledku průsaků povrchových srážkových vod závaly do podzemí. Vyražená díla ve sklonu ložiska zde vytváří přirozený drenážní systém s akumulací vod v nejnižších částech dolu bez zajištěného gravitačního odtoku. Kromě průzkumu podzemí a nepropustných závalů, s hledáním přirozené cesty odtoku, je navržena a schválena varianta malo-profilového úpadního odvodňovacího vrtu mezi komorou komplexu SDDI a komorou komplexu SDDII v délce cca 40 m (obr. 5). Ta je průsaky skrze závaly napojena na stávající funkční odvodňovací štolu vyústěnou do místní vodoteče. K návrhu řešení tak náročného úkolu ve složitých podmínkách dolu bylo využito laserového 3D scanování zájmových prostor, které poslouží i pro následné vytyčení a nasměrování vrtných prací.

V druhém případě se jedná o obnovu zcela nepřístupné a neznámé odvodňovací štoly Barbora, postižené na trase velkým množstvím

the steel ribs K21 forming a trapezoidal profile could be braced or embedded into. With the help of steel-sheet forepoling pre-installed by hammering ahead of excavation face, it was possible to separate the cave-in from the current excavation of a corridor of the 3.6m² profile. The excavation round length and the ribs spacing was set at 0.8m and the excavation face was horizontally divided and each opening was fully supported by wooden lagging. The collapse remediation took place at a depth of approx. 30m.

Although works were planned for June, a period with suitable climatic conditions, on Friday, after the rains and workers leaving the workplace, the clayey-sandy material from the collapse in the overburden liquefied and overflowed through the face support with a volume of 12m³ into the already reclaimed section. The experience gained in this way was incorporated into the technological process of remediation, with an emphasis on high-quality excavation face stabilization, especially at the roof, and protection against failure in the event of an inflow of liquefied collapse materials. During the execution of the works and the collapse remediation, continuous geotechnical monitoring of the adjacent broken and weakened chamber pillar was ensured, which was supposed to be unilaterally unloaded due to the removal of the caved-in material up to a height of 2.5m. String dilatometers were installed onto the separation cracks of the chamber pillar with online transmission to the web application. Currently, the connecting corridor between the SDDI and II complexes is supported by mine steel ribs with steel-sheet lagging and is used for inspections of the adjacent mine spaces.

The SDDII–III connecting corridor was already mentioned during the remediation of the mining shaft. After excavating and remedying three cave-ins in the route and restoring the profiles of the excavated corridors, today it is included in the visitor's adrenaline route, which passes through untouched historical mining parts from the 15th and 16th centuries, and makes available the SDDIII complex, which was discovered in 2014 and made accessible in 2023.

RESTORATION OF THE DRAINAGE CORRIDOR AND DRAINAGE GALLERIES

One of the current goals of the Jeroným mine project is to ensure the controlled drainage of mine waters from the flooded parts of the mine and the restoration of the second, newly discovered Barbora drainage gallery. In the first case, these are the chambers and corridors that get flooded as a result of seepage of surface rainwater, which seeps into the underground through cave-ins. Excavations in a slope of the ore deposit form a natural drainage system with accumulation of water in the lowest parts of the mine without possibility of gravity drainage. In addition to the exploration of the underground and impermeable sinkholes, with the search for a natural drainage path, a variant of a small-profile drainage borehole between the chamber of the SDDI complex and the chamber of the SDDII complex with a length of about 40m is designed and approved (Fig. 5). This is connected through seeping sinkholes to the existing functional drainage gallery that discharges into the local watercourse. Laser 3D scanning of areas of interest was used to propose a solution for such a demanding task in the complex conditions of the mine, which will also be used for the subsequent layout and directing of drilling work.

In the second case, it concerns the remediation of the completely inaccessible and unknown Barbora drainage gallery, affected by a big number of large or small cave-ins along the route (Fig. 12). The gallery is excavated in the overlying gneiss and its length is expected to be approx. 450m. In previous years, its entrance was



Obr. 12 Stav odvodňovací štoly Barbora před obnovou
Fig. 12 The state of the Barbora drainage gallery before remediation

větších či menších závalů (obr. 12). Štola je vyražena v nadložních rulách a její délka se předpokládá cca 450 m. V předchozích letech bylo provedeno zajištění jejího ústí, zajištěn gravitační odtok vytékajících důlních vod před štolou osazením odvodňovacího potrubí DN 250 v délce 60 m, uloženého v hloubce 2,5 až 5,0 m, a obnova úvodní části štoly v délce 40 m. V současné době probíhají práce na zajištění výrubu úvodní části štoly ve vytipovaných kritických úsecích, příprava na vymáhání navazujícího závalu a zajišťovací práce v místě nově vybudované šachtice v propadu štoly s 10 m mocným nadložím dotčeným antropogenní činností.

ZÁVĚR

Důl Jeroným je historickou ukázkou hornické práce našich předků z období 15.–17. století nedotčené novodobou těžbou. Jedná se o unikátní a jedinečný komplex důlních děl dokumentujících způsob dobývání (obr. 2 až 4), průzkumu a řízení těžby v 16. století, známé především ze souhrnného díla Georgia Agricoly vydaného v roce 1556. Důl je otevřen klasickými středověkými šachticemi s obdélníkovým profilem, s pokračováním úklonnými a horizontálními chodbicemi a komorami s mnoha drobnějšími důlními díly různých funkcí a významu až do nejnižšího těžebního horizontu napojeného na odvodňovací štolu v délce přes 400 m. Pro vysoký stupeň zachování původní hornické práce a jedinečnost uchování historického dolu jako celku představuje důl Jeroným unikátní montánní památku reprezentující evropskou hornickou kulturu středověku. Přístup k záchraně a zajištění historického dolu je těmito skutečnostmi významně ovlivněn a zvolené postupy v maximální možné míře akceptují postupy 16. století. Ve výjimečných případech jsou voleny moderní metody zajištění a materiály, jejichž nasazení je nezbytné pro záchranu konkrétního díla, splnění účelu v reálných podmínkách a zajištění bezpečnosti provádění.

V květnu roku 2023 byl veřejnosti zpřístupněn komplex SDDII a ve formě adrenalinové trasy i komplex SDDIII. Podzemí historického dolu je rovněž využíváno Hasičským záchranným sborem Karlovarského kraje pro cvičení záchranných zásahů ve špatně přístupném prostoru. Slouží jako podzemní výzkumné pracoviště pro vysoké školy a vědecké instituce, včetně Národního památkového ústavu v Lokti, který zde provádí archeologický výzkum a průzkum montánního charakteru. Pro báňské záchranáře je to vhodná cvičná lokalita osvojování báňských záchranných postupů a zásahů v autentickém hornickém prostředí.

Na lokalitě budou nadále pokračovat zajišťovací práce charakteru obnovy odvodňovací štoly, zajištění gravitačního odtoku důlních vod, včetně zajištění vybraných kritických částí dolu.

Ing. MARTIN ŠEFRNA,

Martin.Sefrna@geotechnika.cz, SG Geotechnika a.s.

Recenzoval / Reviewed by: Ing. Libor Mařík

remediated, and the mine waters gravity draining by installing a DN250 drainage pipe in a length of 60m, laid at a depth of 2.5 to 5.0m, and the front part of the gallery with a length of 40m has been restored. Work is currently underway to stabilize excavated walls of the entrance part of the gallery in selected critical sections, and to prepare for coping with adjacent collapse and for remediation work at the site of the newly built shaft in the gallery cave-in under a 10m thick overburden affected by anthropogenic activity.

CONCLUSION

The Jeroným Mine is a historical example of the mining work of our ancestors from the 15th–17th centuries untouched by modern mining methods. It is a unique mine complex documenting the method of mining (Fig. 2 to 4), exploration and management of mining in the 16th century, known mainly from the comprehensive work of Georgia Agricola published in 1556. The mine is opened by classic medieval shafts with a rectangular profile, and includes inclined and horizontal corridors and chambers with many smaller mine parts of various functions and significance up to the lowest mining horizon connected to a drainage gallery over 400m long. The Jeroným mine represents a unique monument representing the European mining culture of the Middle Ages thanks to the high degree of preservation and the preservation uniqueness of the historic mine. The approach to safeguarding and remediation of the historic mine is significantly influenced by these facts, and the chosen procedures use the procedures of the 16th century as much as possible. In exceptional cases, modern support methods and materials are chosen, whose utilization is necessary for preservation of specific parts, and for ensuring the safety of remediation in real conditions.

In May 2023, the SDDII complex and, in the form of an adrenaline route, also the SDDIII complex were made available to the public. The underground of the historic mine is also used by the Fire and Rescue Service of the Karlovy Vary region for practicing rescue interventions in hard-to-reach areas. It serves as an underground research facility for universities and scientific institutions, including the National Monument Institute in Loket, which conducts archaeological research and mining exploration. For mine rescuers, it is a suitable training location for mastering mine rescue procedures and interventions in an authentic mining environment.

At the locality, remediation work for the restoration of the drainage gallery, ensuring the gravity drainage of mine waters, including the stability of selected critical parts of the mine, will continue.

Ing. MARTIN ŠEFRNA,

Martin.Sefrna@geotechnika.cz, SG Geotechnika a.s.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] AGRICOLA, G. *Jiřího Agricoly Dvanáct knih o hornictví a hutnictví*. Ostrava: Montanex, 2001. ISBN 80-7225-057-4.
- [2] BARTOŠ, S. Posouzení geomechanických vlastností horninového prostředí z hlediska vlivu SDD na stabilitu povrchu v lokalitě Čistá u Rovné. Kladno: 2003, 21 s.
- [3] ŠEFRNA, M., KOVÁŘ, J. Soubor projektové dokumentace stavby Náprava škod způsobených dobýváním cínu na ložisku Čistá-Jeroným. Příbram: Geomont, 2013, 128 s.
- [4] ŠEFRNA, M. Dokumentace stavby Žula a voda – Propojení komplexů v žulovém masivu Krudum za účelem zpřístupnění dolu Jeroným. Praha: SG Geotechnika, 2021, 86 s.
- [5] SEDLÁČEK, M. Statické doplnění projektu jáma KŠ1, Trvalá výztuž a definitivní výstroj KŠ1. Praha: 2020, 2021, 92 s, 84 s.