

Podzemní laboratoř Josef

D. Nádherná, D. Pacovská, J. Štáštka

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Praha, Česká republika

ABSTRAKT: Centrum experimentální geotechniky Fakulty stavební Českého vysokého učení technického v Praze (ČVUT) provozuje od roku 2007 multifunkčně zaměřené pracoviště Podzemní laboratoř Josef v důlním díle štola Josef v lokalitě Čelina – Mokrsko na Novoknínsku. Tato oblast je od středověku známá jako zlatorudní revír Psí Hory. Štola byla vyražena v 80 letech minulého století v rámci geologického průzkumu, jehož výsledkem byl odhad zásob zlata v lokalitě na 132 t. Ložisko se tím řadí k nejbohatším v Evropě. Přes toto přítomné „bohatství“ zůstává posláním vysokoškolského pracoviště praktická výuka budoucích stavebních inženýrů a výzkumná a experimentální činnost v reálném podzemním prostředí. Podzemní laboratoř Josef je svými pestrými geologickými podmínkami, rozsahem (8km vyražených štol), moderním vybavením i dostupností (60km jižně od Prahy) jedinečným pracovištěm. Nejen univerzity, ale i další výzkumné organizace a inovační firmy zde v in situ prostředí nacházejí prostor pro praktickou výuku a vlastní výzkum. Cílem příspěvku je přiblížit historii tohoto místa, ale zejména výzkumné projekty řešené v podzemní laboratoři.

1 ŠTOLA JOSEF

Průzkumná štola Josef byla vyražena v souvislosti s rozsáhlými průzkumnými pracemi v 80. a 90. letech 20. stol. ve zlatonosném rudném revíru Psí hory. Rudný revír Psí hory se rozprostírá převážně v proterozoických více než 600 milionů let starých horninách tzv. Jílovského pásma, do kterých později během variského vrásnění pronikly granitoidy Středočeského plutonu. Ložiska zlatonosných rud jsou vázána na poruchové zóny v horninách.

Štola Josef prochází vrchem Veselý napříč horninovým masivem ve směru SSZ a propojuje dvě zlatonosná ložiska – Čelinu a Mokrsko. Páteřní štola je 1 835 m dlouhá, na konci je propojena s povrchem terénu 136 m vysokým větracím komínem. V oblasti Čeliny a Mokrska navazují na páteřní štolu hlavní překopy, ze kterých jsou dále vedeny kratší rozrážky. Celková délka podzemních chodeb činí 7 853 m, jejich profil se pohybuje od 14 do 16 m², přibližně 90 % výlomů je nevystrojeno (obr. 1.).

Vlastník díla – Ministerstvo životního prostředí ČR – uzavřelo v roce 2005 smlouvu s Fakultou stavební ČVUT v Praze o zapůjčení štoly pro studijní, vzdělávací a výzkumné účely. Od června roku 2007 začalo tedy fungovat v areálu štoly Josef pracoviště Fakulty stavební – Podzemní výukové

středisko Josef. Provozovatelem areálu štoly se stalo CEG FSv – pracoviště, které se v rámci své činnosti zaměřuje jak na pedagogickou, tak i na experimentální činnost.

Do současnosti byly již zprovozněny a k využití slouží více jak 4 km podzemních chodeb. V podzemí je možné se připojit na internet, využívat telefonní spojení, zprovozněné prostory jsou monitorovány kamerami, pro dočasnou ochranu ohrožených osob byla vybudována ve slepé části páteřní štoly záchranná komora.



Obr 1. Portály štoly Josef.

2 VÝUKA V PODZEMÍ

Od akademického roku 2007/2008 probíhá v podzemí pravidelná výuka předmětů zaměřených na problematiku související např. s podzemními stavbami, mechanikou hornin, materiálovým inženýrstvím, inženýrskogeologickým průzkumem, geodetickými pracemi a mapováním v podzemí jak z bakalářských, tak i magisterských oborů. Studenti zde řeší experimentálně zaměřené bakalářské, magisterské i doktorské práce.

Čtyři vysoké školy se rozhodly spojit své vědecké kapacity a společně se podílet na výstavbě a provozování podzemní laboratoře (MeziLab). Těmito vysokými školami byly Fakulta stavební a Fakulta jaderná a fyzikálně-inženýrská ČVUT v Praze, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Technická univerzita v Liberci a Masarykova univerzita Brno. Vedle je k tomu nutnost komplexně a systémově řešit multidisciplinární problematiku týkající se výstavby a provozování podzemních zásobníků plynů, ukládání vyhořelého jaderného paliva do hlubinných úložišť, případně skladování CO₂ v podzemí. Hledání optimálního řešení výše uvedených témat však vyžaduje dlouhodobou přípravu odborníků (studentů), a to nejen teoretickou, ale i praktickou, zahrnující možnost experimentální výuky v „in situ“ prostředí. První studenty přivítal MeziLab v červnu roku 2010 a od té doby se sem vracejí v rámci pravidelné výuky i odborných exkurzí, řeší zde své bakalářské, magisterské i doktorské práce, podílejí se na výzkumných projektech (obr. 2.).



Obr 2. Meziuniverzitní laboratoř.

3 EXPERIMENTÁLNÍ VÝZKUM

Tematicky je převážná část projektů zaměřena na dvě oblasti – výzkum související s problematikou budování hlubinného úložiště (HÚ) radioaktivních odpadů (RAO) a výzkum plynopropustnosti horninového masivu.

3.1 TIMODAZ experiment

Prvním a zatím nejdéle probíhajícím experimentem ve štole Josef (2006–2010) byl evropský projekt TIMODAZ (obr. 3.), na kterém spolupracovalo 14 evropských výzkumných institucí a univerzit. Projekt zkoumal vliv dlouhodobého tepelného zatížení na stabilitu ostění úložného tunelu pro kontejnery s vyhořelým jaderným palivem. Experiment dlouhodobě probíhal na dvou fyzikálních modelech – na laboratorním v laboratoři CEG v Praze, druhý – „in situ“ model byl umístěn do rozrážky ve štole Josef. Velmi zajímavé a přínosné byly poznatky především z „in situ“ experimentu, kdy prostor mezi smontovaným ostěním a horninou byl vyplněn betonem. Tímto způsobem byl simulován stav, při kterém nemá betonové ostění možnost deformovat se směrem do horniny, a proto v něm vznikají velká napětí. Pět let trvající monitoring jednoznačně prokázal, že je nezbytné z hlediska bezpečnosti vývoj změn v ostění během tepelného zatěžování sledovat.



Obr 3. Experiment TIMODAZ.

3.2 Výzkum vlastností bentonitu

Dlouhodobým partnerem, resp. zadavatelem experimentálního výzkumu v oblasti ukládání vyhořelého jaderného paliva je Správa úložišť radioaktivních odpadů (SÚRAO) Praha. Témata zadání vycházejí z nutnosti systematicky prozkoumat a ověřit vlastnosti materiálů, se kterými se počítá pro výstavbu inženýrské bariéry hlubinného úložiště RAO, a rovněž vyvinout technologické postupy, které se pro tyto materiály budou používat. Tohoto okruhu se týkají projekty zaměřené na výzkum vlastností materiálů na bázi bentonitu při dlouhodobém působení teploty a saturačního média s extrémními účinky, na geotechnický výzkum přírodních zelených jíílů z lokality Skalná - Nová Ves a na výzkum možnosti využít technologii stříkaného bentonitu pro konstrukci těsnicí vrstvy hlubinného úložiště.

3.3 Technologie stříkaných jílu

Bentonit je ekologický přírodní materiál, se kterým se počítá pro těsnicí a výplňový materiál v konstrukci hlubinného úložiště RAO. Vývoj technologie stříkaného bentonitu je určen pro aplikaci materiálu s převážně výplňovou funkcí. Vyvíjí se technologie zaplnění (backfill) těžko přístupných míst zastříkáním. Výzkum se zaměřuje na optimalizaci složení směsi na bázi bentonitu a optimalizaci zařízení pro nástřik. Technologie stříkaného backfillu vychází z technologie stříkaných betonů běžně používané v podzemním stavitelství. Navržená technologie se ověřuje jak v povrchovém areálu štol, tak také v jedné z rozrážek štol Josef.

3.4 Mock-Up-Josef experiment

Dalším předmětem zkoumání je experimentální „in situ“ simulace vertikálního uložení kontejneru s vyhořelým jaderným palivem v HÚ. Pro tento v České republice ojedinělý experiment pojmenovaný Mock-Up Josef byla vybrána slepá štola v oblasti Mokrsko-západ, kde se nacházejí kvalitní granitické horniny. V prostoru štol byly vyvrtány 3 studny o průměru 750 mm do hloubky 2800 mm. Na základě doporučených parametrů pro materiál geotechnické bariéry byl pro její výstavbu zvolen bentonit B75 z úpravny v Obrnicích. Tento bentonit je technologicky upravený přírodní bentonit a jeho vlastnosti byly ověřeny sérií zkoušek v laboratoři CEG.

3.5 Plynopropustnost horninového masivu

Plynopropustnost horninového masivu je předmětem výzkumu rozsáhlého projektu, který řeší CEG FSv společně s firmou Mott MacDonald Praha, spol. s r.o., v rámci projektu MPO – Program TIP. Zkoumá se v souvislosti s myšlenkou budovat podzemní zásobníky energetických médií, zachytávat a v podzemí skladovat oxid uhličitý a v neposlední řadě je tento výzkum spojen s ukládáním radioaktivních odpadů. Dosud neexistuje spolehlivá metodika, kterou by bylo možné využít pro návrh způsobu a rozsahu monitorování bezpečného provozu uvedených podzemních děl. Ukládání, resp. skladování látek v podzemí vyžaduje dokonalé nezpochybnitelné monitorovací systémy, které jsou schopny odhalit možný únik těchto látek do okolního prostředí. Podzemní prostory štol Josef představují svým pestrým geologickým prostředím pro výzkum plynopropustnosti jedinečné podmínky pro „in situ“ testy. V různých geologických poměrech byly vyvrtány celkem 3 vrty dlouhé cca 20 m. Pomocí speciální sestavy pro injektování plynného média a unikátní mobilní měřicí stanice s možností zaznamenávat měřené hodnoty tlaku, teploty a objemu plynu, jsou ve štolě prováděny testy plynopropustnosti od října 2009 (obr. 4.).



Obr 4. Sestava pro měření plynopropustnosti hornin.

3.6 DOPAS – Těsnicí zátka v reálném měřítku

V září roku 2012 byl v Podzemní laboratoři Josef zahájen mezinárodní projekt DOPAS (Full Scale Demonstration of Plugs and Seals), který řeší 14 členné konsorcium evropských institucí a mezi nimi tři české subjekty – SÚRAO, ÚJV Řež a CEG Fakulty stavební ČVUT v Praze. Náplní projektu je návrh, výstavba, provoz a vyhodnocení fyzikálního modelu „zátky“ pro utěsnění přístupových štol hlubinného úložiště radioaktivních odpadů.

3.7 STIROMAS – Stimulace horninového masivu

Stimulace horninového masivu pro vytvoření puklinového rezervoáru pro jímání geotermální energie systémem hot-dry-rock je název projektu, který je soustředěn na výzkum rozvolňování horninového masivu, resp. zvýšení četnosti puklinové sítě na principu hydraulického štěpení. Projekt vychází z poznatku, že pro využití horninového prostředí je v některých případech nutné navýšit míru rozvolněnosti horninového masivu – např. pro jímání ropných uhlovodíků, jímání geotermální energie, instalace tepelných čerpadel na systému voda - voda apod. K navýšení četnosti puklinové sítě lze využít technologii hydraulického štěpení pomocí generátoru pulzních tlaků, v tomto případě se předpokládá využít ke štěpení hornin plyn nebo kapalinu. Dílčí fáze projektu mají za cíl provést rešerše relevantní literatury, vybrat kandidátské horniny a odebrat jejich vzorky, určit tlaky nutné k rozvolnění různých typů hornin, zjistit prostorový dosah rozvolnění, stanovit vztah mezi laboratorními a „in situ“ experimenty a ověřit možnost modelování a predikce dosahu hydraulického štěpení v horninovém masivu. Zkoušky se uskuteční jak v laboratorním prostředí, tak v Podzemní laboratoři Josef, kde byla vybudována „in situ“ laboratoř pro experimenty na mikrovzorcích vybraných hornin. Pro tyto experimenty bylo vyvinuto unikátní zařízení, kterým lze vzorky rozrušovat lineárně rostoucím tlakem i využívat pulzní tlaky.

4 PODZEMNÍ VÝZKUMNÉ CENTRUM URC JOSEF

V roce 2010 získalo Centrum experimentální geotechniky Fakulty stavební z operačního programu Podnikání a inovace dotaci na projekt vědeckotechnického parku Regionální podzemní výzkumné centrum URC Josef (Josef Underground Research Centre). Základem pro URC Josef (obr 5.) se stala dvoupodlažní dlouhodobě nevyužívaná budova v povrchovém areálu štolky Josef. Jedná se o bývalý šachetní objekt, který od ukončení průzkumných prací v roce 1991 chátral a který již v roce 2005 získala Fakulta stavební ČVUT darem od vlastníka díla – Ministerstva životního prostředí.

URC Josef využívá existující kapacity, které poskytují podzemní prostory a existující povrchové zázemí. Současně rozšiřuje možnosti využití zprovozněných částí štolky a nabízí prostory a služby podnikatelským subjektům zejména z okruhu inovačních firem. Pro nově vznikající subjekty slouží jako podnikatelský inkubátor.

Hlavní cíle URC Josef:

- podpora průmyslového výzkumu,
- technologický vývoj a inovace zaměřené zejména na nové technologie, konkurenceschopné výrobky a služby v oboru podzemních staveb,
- rychlejší transfer výsledků výzkumu k praktickým aplikacím,
- trénink a rekvalifikace pracovníků podzemních staveb,
- marketinkové aktivity, expertní služby a akreditované zkušebnictví.

V České republice ani v Evropě neexistuje vědeckotechnický park, který nabízí infrastrukturu, prostředí a služby jako URC Josef. Jeho jedinečnost spočívá ve funkční provázanosti s rozsáhlým komplexem podzemních prostor štolky Josef. Součinností URC Josef s již zprovozněným podzemím vzniklo pracoviště, které v reálném prostředí připravuje odborníky pro podzemní stavitelství a zároveň zde podnikatelské subjekty nalézají prostory pro vlastní výzkum.

Rekonstruovaná budova poskytuje ve třech podlažích využitelné prostory o ploše 914 m² zahrnující kancelářské prostory, multifunkční konferenční místnost, experimentální halu, akreditované laboratoře a technické zázemí. Podnikatelským subjektům nabízí 300 m² plochy k pronájmu. Vnitřní prostory jsou vybaveny kancelářským nábytkem, informačními technologiemi a laboratoře moderními stroji a zařízeními. V oblasti informačních technologií se jedná zejména o multifunkční datovou síť s připojením k internetu, která slouží jako páteř pro veškerou komunikaci, dále o audio vizuální vybavení konferenční místnosti a digitální telefonní systém.

Partnery projektu jsou subjekty z komerční sféry (Metrostav, a. s.), veřejné správy (obec Chotilsko, města Dobříš a Příbram) a Hornické muzeum Příbram. Projekt podporuje International Atomic Energy Agency (IAEA).



Obr 5. Budova URC Josef.

5 TRÉNINK

Své postavení si začíná areál štolky Josef budovat i v mezinárodním měřítku. Díky prezentacím štolky Josef na zahraničních konferencích a seminářích jako jedinečného prostoru pro praktickou výuku i experimentální výzkum se zde uskutečnily dva tréninkové pobyty.

První z nich proběhl jako součást tréninkového kurzu Fundamentals of Geological Disposal 2011, který v Praze pořádalo CEG Fakulty stavební ČVUT ve spolupráci se švýcarskou mezinárodní organizací ITC School (School of Underground Waste Storage and Disposal) v červnu 2011 (obr. 6.).

Druhou mezinárodní akcí byl třítydenní výukový kurz, který se uskutečnil v rámci tříletého evropského projektu PETRUS II, jehož hlavní náplní je vytvořit koncepci celoevropského systému přípravy odborníků zabývajících se problematikou nakládání s radioaktivními odpady a jehož je CEG od roku 2009 účastníkem.



Obr 6. Cvičná stěna pro stříkaný backfill.

6 ZÁVĚR

Je patrné, že se v areálu štolky Josef postupně začínají uskutečňovat záměry, se kterými bylo ke znovuzprovoznění opuštěného podzemního díla přistoupeno. Ve štole již pátým rokem probíhá

praktická výuka vysokoškolských studentů, jsou realizovány výzkumné projekty, podzemí slouží pro mezinárodní tréninkové aktivity, prostřednictvím vědecko-technického parku URC Josef se rozvíjí spolupráce s podnikatelskými subjekty. V počátcích jsou marketingové aktivity – o prezentaci svých produktů projevil zájem firmy HILTI ČR, spol. s r. o., BASF Stavební hmoty Česká republika, s. r. o. Dalším dlouhodobým cílem je rozšířit mezinárodní spolupráci i o země mimo Evropskou unii – probíhá jednání o spolupráci s čínskými kolegy z Beijing Research Institute of Uranium Geology, svůj zájem projeví partneři např. z Koreje, Ruska, Chorvatska. lze vzorky rozrušovat lineárně rostoucím tlakem i využívat pulzní tlaky.

7 ACKNOWLEDGMENT

Účast na 52. ročníku symposia Hornická Příbram ve vědě a technice byla finančně podpořena z projektu MPO TIP – FR – TI3/523.

8 LITERATURA

- [1] MORÁVEK, P., et al. Zlato v Českém masivu. Praha: ČGÚ, 1992. 248 s. ISBN 80-7075-088-X.
- [2] PACOVSKÝ, J., et al. Podzemní výukové středisko Josef: Výroční zpráva 2009. Centrum experimentální geotechniky FSv ČVUT v Praze, Praha, 2010. 32 s.
- [3] PACOVSKÝ, J., et al. Podzemní výukové středisko JOSEF: Výroční zpráva 2010. Centrum experimentální geotechniky FSv ČVUT v Praze, Praha, 2011. 36 s.
- [4] PACOVSKÝ, J., et al. Regionální podzemní výzkumné centrum URC Josef: Výroční zpráva 2011. Centrum experimentální geotechniky FSv ČVUT v Praze, Praha, 2012. 32 s.
PACOVSKÝ, J., et al. Regionální podzemní výzkumné centrum URC JOSEF: Výroční zpráva 2012. Centrum experimentální geotechniky FSv ČVUT v Praze, Praha, 2013. 34 s.