



Strategický plán výzkumu České geologické služby na léta 2023–2027



Jan Pašava, Zdeněk Venera a kol.

Česká geologická služba



Strategický plán výzkumu České geologické služby na léta 2023–2027

Jan Pašava, Zdeněk Venera a kol.



ČESKÁ
GEOLOGICKÁ
SLUŽBA

Obsah

Úvod	4
Role věd o zemi ve společnosti ve třetí dekádě 21. století	4
Cíle strategického plánu výzkumu ČGS na léta 2023–2027	5
1. Stavba a dynamika planety Země	7
1.1. Geologické mapování a regionální geologický výzkum	7
1.1.1. Současný stav v oblasti geologického mapování a regionálního výzkumu v ČGS	7
1.1.2. Strategické cíle výzkumu 2023–2027	9
1.2. Porozumění endogenním procesům v minulosti a v současnosti	9
1.2.1. Současný stav výzkumu v ČGS	10
1.2.2. Strategické cíle výzkumu 2023–2027	11
1.3. Výzkum litosféry pro účely ukládání radioaktivního odpadu	14
1.3.1. Současný stav výzkumu v ČGS	15
1.3.2. Strategické cíle výzkumu 2023–2027	15
2. Výzkum globálních změn, biosféry a sedimentárního záznamu	16
Úvod	16
2.1. Výzkum globálních změn a vývoje mořských ekosystémů	16
2.2. Výzkum globálních změn a vývoje terestrických ekosystémů	18
2.3. Interakce vulkanismu se sedimentárním prostředím a biosférou	20
2.4. Vývoj kvartérního prostředí a studium exogenních geologických procesů	21
3. Nerostné suroviny pro udržitelný ekonomický rozvoj	23
3.1. Současný stav ložiskověgeologického výzkumu v ČGS	23
3.2. Strategické cíle výzkumu 2023–2027	24
3.3. Prioritní témata výzkumu 2023–2027	25
3.3.1. Kritické suroviny v národním a mezinárodním kontextu v podmínkách udržitelného rozvoje společnosti a cirkulární ekonomiky	25
3.3.2. Nerostné suroviny a udržitelný rozvoj regionů a dopravní infrastruktury	26
3.3.3. Vliv těžby a zpracování nerostných surovin na životní prostředí	27
3.3.4. Výzkum ložiskověgeologických procesů a prognózování zdrojů nerostných surovin	27
3.3.5. Historie těžby a zpracování nerostných surovin, montanistický výzkum	28

4. Výzkum a hodnocení stavu podzemních vod	29
Úvod	29
4.1. Strategické cíle výzkumu 2023–2027	30
4.1.1. Studium vlivu klimatické změny a dalších antropogenních zásahů na přírodní zdroje podzemních vod	30
4.1.2. Studium procesů tvorby zásob podzemních vod v různých hydrogeologických strukturách	31
4.1.3. Hydrogeologické aspekty výstavby hlubinných úložišť a využívání geotermální energie	33
5. Výzkum geoenergií	34
5.1. Současný stav výzkumu geoenergií v ČGS	34
5.2. Strategické cíle výzkumu 2023–2027	34
5.2.1. Geologické ukládání CO ₂	35
5.2.2. Geotermální energie	35
5.2.3. Skladování energie v horninovém prostředí	36
6. Inženýrská geologie a geologická rizika	37
6.1. Svahové deformace	37
6.2. Radonové riziko geologického podloží	39
6.3. Výzkum v oblasti přípravy strategických staveb	40
7. Biogeochemie krajiny v době klimatické změny	41
7.1. Koloběh uhlíku a vybraných prvků v ekosystémech pod vlivem environmentálních změn	42
7.2. Modelování biogeochemických procesů v krajině	44
7.3. Izotopy jako diagnostický nástroj v biogeochemii	45
8. Odborná podpora a rozvoj organizace	46
8.1. Výzkum a vývoj analytických a zobrazovacích laboratorních metod	46
8.1.1. Laboratoř rentgenové mikroanalýzy (LAREM)	46
8.1.2. Laboratoř rentgenové difrakce	47
8.1.3. Rozvoj a aplikace chromatografie, analýzy biomarkerů a atmogeochemického monitoringu	47
8.1.4. Laboratoř konvenčních stabilních izotopů	48
8.1.5. Ultrastopová laboratoř	48
8.1.6. Laboratoře hmotové spektrometrie a laserové ablace	48
8.2. Rozvoj digitálních technologií v geologii	49
8.2.1. 3D modelování a vizualizace v geologii	49
8.2.2. Využití DPZ, UAV a rozvoj fotogrammetrických metod	49
8.2.3. 3D modelování a vizualizace pro účely samospráv (urbanistická geologie)	50
8.2.4. Modelování geologických procesů	51
8.3. Popularizace	51
8.4. Podpora lidských zdrojů	53

Úvod

J. PAŠAVA, Z. VENERA

ROLE VĚD O ZEMI VE SPOLEČNOSTI VE TŘETÍ DEKÁDĚ 21. STOLETÍ

Zelená dohoda pro Evropu společně s dalšími evropskými a národními strategickými dokumenty odráží odhodlání řešit problémy způsobené změnou klimatu a dalších složek životního prostředí. Potřeba udržitelného rozvoje ve vztahu k omezeným přírodním zdrojům a tváří v tvář nevratným změnám v užití krajiny si vybojovala přední místo ve společenském vědomí. Výzkum trvale udržitelného hospodaření s půdou, vodou, ovzduším a nerostným bohatstvím, jakož i opatření k zachování biodiverzity, patří mezi prioritní témata všech vyspělých zemí. Hlavní výzvou dneška je nutnost pochopit složité propojení mezi geologickými, biologickými, pedologickými, hydrologickými, atmosférickými, klimatickými a socioekonomickými systémy. Velkého pokroku bylo dosaženo v porozumění dopadům lidské činnosti na látkové toky v exosféře. Člověk každoročně ničí stokrát víc půdy, než kolik jí vzniká přirozenými půdotvornými procesy. Svět se mění nebyvalou rychlostí a stále naléhavěji je třeba propojovat údaje o kvantitě probíhajících změn s tvorbou strategií k omezení globálních environmentálních rizik. Environmentální rizika však nelze prvoplánově odstraňovat na úkor ekonomických cílů, zvláště v hospodářsky méně vyspělých regionech. Musí jít o jemnou rovnováhu mezi klady a zápory, cenou a účinností opatření přijatých ke stabilizaci podmínek k životu. Studium sedimentárního záznamu, evoluce nejrůznějších složek biosféry a globálních změn v geologické minulosti je významným východiskem pro řešení celé řady otázek spjatých se současnou klimatickou změnou. Pohledem do minulosti zvýšíme věrohodnost stochastických modelů, užívaných pro předpovědi střednědobého vývoje klimatu a globální biodiverzity.

Musí být zajištěna bezpečnost obyvatelstva a zabezpečeny energetické zdroje. Nejen v místech předpokládaných častých přírodních katastrof, k nimž ve střední Evropě patří povodně, sesuvy půd a skalní řícení, je třeba dobudovat systémy včasného varování. Tato oblast geovědní agendy se má stát příkladem neoddělitelnosti základního a aplikovaného výzkumu. Důležitým předpokladem úspěšného řešení řady výše uvedených celospolečenských problémů je rozvoj 3D modelování na základě geovědních dat. Bez detailní znalosti dynamiky naší planety v různých časových škálách nelze navrhnout optimální využití surovinových zdrojů, geometrii podzemních staveb ani dimenzovat inženýrské bariéry a objektivně zhodnotit jejich bezpečnost. I nadále budou hrát důležitou roli regionálněgeologický výzkum, vizualizace hlubší stavby zemské kůry a svrchního pláště a studium endogenních procesů, jež formovaly a formují naši planetu. Snaha o co nejefektivnější využití odpadů, zajištění a ochrana zdrojů kritických surovin (např. rud lithia, kobaltu, niklu, skandia, přírodního grafitu aj.) a jejich ekologicky co nejšetrnější zpracování jsou klíčové pro udržitelný rozvoj naší technicky vyspělé společnosti a úspěšný přechod na klimaticky neutrální a surovinově efektivní cirkulární ekonomiku. S tím úzce souvisí i stále větší důraz na výzkum a využívání obnovitelných zdrojů, včetně geotermální energie a možností skladování tepla či jiných typů energií v horninovém prostředí a podzemních prostorách vzniklých důlní činností. Harmonický rozvoj sídel (koncept „Smart

Cities“) je nemyslitelný bez detailních informací o geotechnických vlastnostech podloží hornin a zemin v městských aglomeracích.

Ačkoliv jsme byli u řady nebezpečných látek svědky klesajících úrovní znečištění všech částí ekosystémů, stále hrozí kumulativní efekt, obzvláště u perzistentních polutantů v půdách a podzemních vodách. Plíživé, dlouhodobé znečištění zranitelných částí ekosystémů se může stát časovanou bombou. Dosažení geochemické bariéry může způsobit náhlou mobilizaci toxických látek. Bezpečné ukládání CO₂ a produktů štěpných reakcí při mírovém užívání jaderné energie za účelem přechodu na bezuhlíkovou energetiku rovněž zůstane doménou geovědních disciplín.

CÍLE STRATEGICKÉHO PLÁNU VÝZKUMU ČGS NA LÉTA 2023–2027

V souvislosti s měnícími se národními a globálními prioritami je nutné, aby ČGS periodicky upravovala a optimalizovala strategické směry svého rozvoje. V průběhu 21. století se geologické vědy vyvinuly v komplexní interdisciplinární obor, spolupracující s ostatními vědeckými disciplínami, včetně biologických, materiálových, inženýrských a sociálních věd.

Komplexní zpracování a efektivní poskytování geovědních informací se stále více podílí na řešení klíčových a mnohdy pro naši společnost existenčních otázek.

Cíle strategického plánu výzkumu vycházejí z vize ČGS:

Vizí ČGS je být pilířem českého státu v poskytování geovědních informací pro rozhodování ve věcech přírodních zdrojů, rizik a udržitelného rozvoje a na základě vysoké odbornosti posilovat svoje postavení vůdčí výzkumné instituce v oboru věd o Zemi.

Z hlediska hodnocení výsledků vědy a výzkumu, prováděného Radou vlády pro vědu, výzkum a inovace (RVVI), patří Česká geologická služba dlouhodobě k nejvýznamnějším producentům těch nejvyšších geovědních vědeckých výsledků v ČR. Kromě významné publikační aktivity (výsledky výrazně nad národním i mezinárodním mediánem), včetně excelentních výsledků výzkumu, hraje ČGS rovněž důležitou roli v aplikovaném výzkumu.

V návaznosti na Strategický plán výzkumu ČGS na léta 2016–2020, Dlouhodobou koncepci rozvoje ČGS (DKRVO/ČGS) na léta 2018–2022 a s využitím obdobných strategických materiálů rozvoje výzkumu schválených na národní, mezinárodní i globální úrovni, po následné široké interní diskusi odborníků reprezentujících různé geovědní obory a po finální redakci vznikl tento strategický dokument ČGS. Prioritní oblasti Strategického plánu výzkumu ČGS na léta 2023–2027 jsou následující:

1. Stavba a dynamika planety Země (D. Buriánek, P. Hasalová, V. Janoušek)
2. Výzkum globálních změn, biosféry a sedimentárního záznamu (J. Frýda, S. Vodrážková)
3. Nerostné suroviny pro udržitelný ekonomický rozvoj (M. Poňavič, B. Kříbek)
4. Výzkum a hodnocení stavu podzemních vod (L. Rukavičková, J. Řihošek)
5. Výzkum geenergií (J. Holeček, J. Franců)
6. Inženýrská geologie a geologická rizika (M. Aue, O. Krejčí)
7. Biogeochemie krajiny v době klimatické změny (M. Novák, J. Hruška)
8. Odborná podpora a rozvoj organizace (M. Vajskebrová, J. Procházková)

Veškeré aktivity v rámci prioritních oblastí, zahrnující základní a aplikovaný výzkum, jsou v souladu se zřizovací listinou ČGS a umožňují plnění výkonu státní geologické služby na vysoké odborné úrovni. Výzkum ČGS je rovněž realizován v úzké vazbě na Aktualizovanou

konceptu výzkumu, vývoje a inovací MŽP na léta 2016–2035 s výhledem do roku 2050 a na prioritní potřeby MŽP s cílem pokračování v produkci těch nejkvalitnějších geovědních výsledků na národní i mezinárodní úrovni.

Významnou součástí tohoto nového strategického dokumentu je popularizace, rozvoj digitálních technologií v geologii, jakož i výzkum a vývoj moderních analytických a zobrazovacích metod. Tato témata jsou velmi důležitá pro úspěšné naplňování všech oblastí výzkumu.

Je třeba rovněž upozornit na skutečnost, že komplexní moderní výzkum v ČGS, založený na rozsáhlé spolupráci na národní a mezinárodní úrovni, má interdisciplinární charakter, protože řada výzkumných pracovníků je zapojena do několika výzkumných týmů ČGS; týmy jsou tak personálně propojeny, což zajišťuje hladký přenos informací, nových poznatků a zkušeností a umožňuje vzájemné využití znalostí mezi jednotlivými týmy.

Neméně důležitá je snaha o co nejširší zapojení studentů a mladých vědeckých pracovníků z domácích i zahraničních pracovišť.

Pokračování v rozvoji lidských zdrojů, moderního přístrojového vybavení a co nejefektivnějšího infrastrukturního zázemí je základním předpokladem pro úspěšné naplňování nového Strategického plánu výzkumu. Jen tak se ČGS může dále prezentovat jako řešitel či klíčový spoluřešitel vysoce kompetitivních výzkumných projektů na národní i mezinárodní úrovni.

Při realizaci Strategického plánu výzkumu ČGS rovněž uplatňuje a zohledňuje principy etiky a genderové rovnosti ve výzkumu a vývoji. Za tímto účelem byl zpracován genderový audit a plán instituce (<http://cgs.gov.cz/extranet/kestazeni/plan-rovných-prilezitosti-2022-27.pdf>).

1/ Stavba a dynamika planety Země

D. BURIÁNEK, K. SCHULMANN, V. JANOUŠEK,
Z. BUKOVSKÁ, P. HASALOVÁ

1.1. GEOLOGICKÉ MAPOVÁNÍ A REGIONÁLNÍ GEOLOGICKÝ VÝZKUM

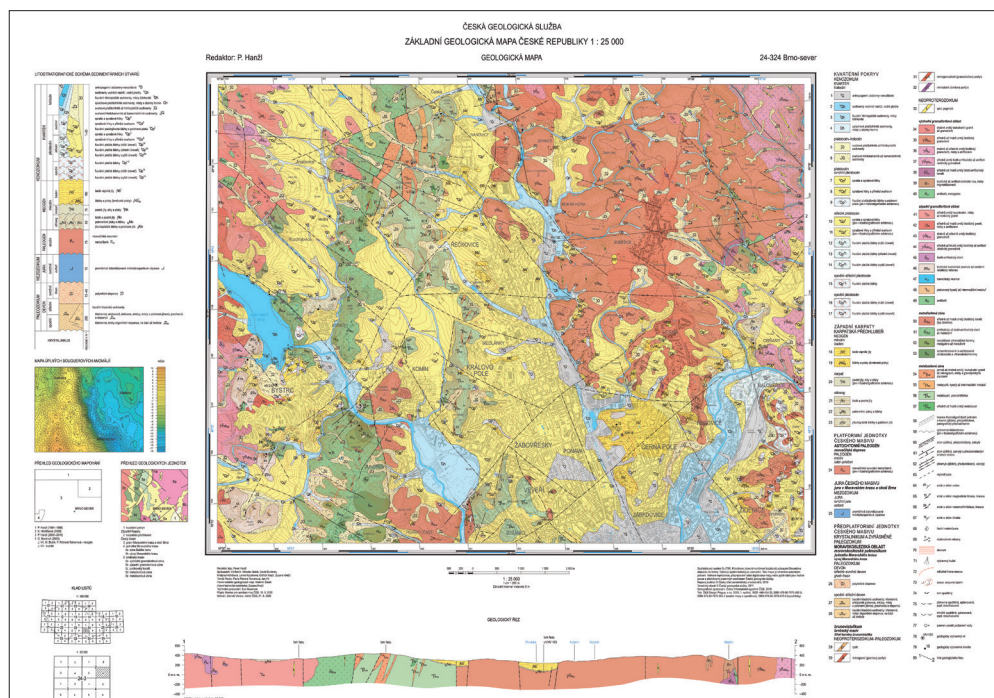
D. BURIÁNEK

Geologické mapování patří mezi hlavní úlohy státní geologické služby od dob jejího založení. Díky kombinaci terénní dokumentace a nejmodernějších analytických metod dokážeme detailně charakterizovat geologickou stavbu a geologický vývoj studované oblasti. Geologické mapování zahrnuje nejen tvorbu geologických map různých měřítek, ale také map tematických (například inženýrskogeologické nebo hydrogeologické mapy). Nová data a hmotné dokumentace vznikající v rámci geologického mapování jsou zpracovávány moderními metodami geografických informačních systémů (GIS) a relačních databází. Všechna data jsou ukládána v Národní geologické mapové databázi (NGMD), která je součástí geologického informačního systému ČGS (Geols). Rozvoj a využití NGMD se zaměřuje na tvorbu metodik zpracování dat, na poskytování přístupu k digitálním geologickým datům a na produkci digitálních map. V rámci geologického mapování je získávána celá řada dalších informací, jejichž znalost je potřebná pro ochranu životního prostředí a umožňuje vytvořit lepší přehled geologických rizik. Přímý ekonomický přínos mají nově získaná data o zdrojích nerostných surovin, včetně jejich zhodnocení. V posledních desetiletích vznikly celé řady geologických a odvozených map, které se soustředily především na chráněné krajinné oblasti a jiná místa veřejného zájmu v České republice. Česká geologická služba se dlouhodobě podílí na zahraničních projektech, zejména v rámci zahraniční rozvojové spolupráce. V mezinárodním měřítku jsou získané údaje základem pro uplatňování dat v INSPIRE (standardizovaná data pro evropskou infrastrukturu geovědních prostorových informací).

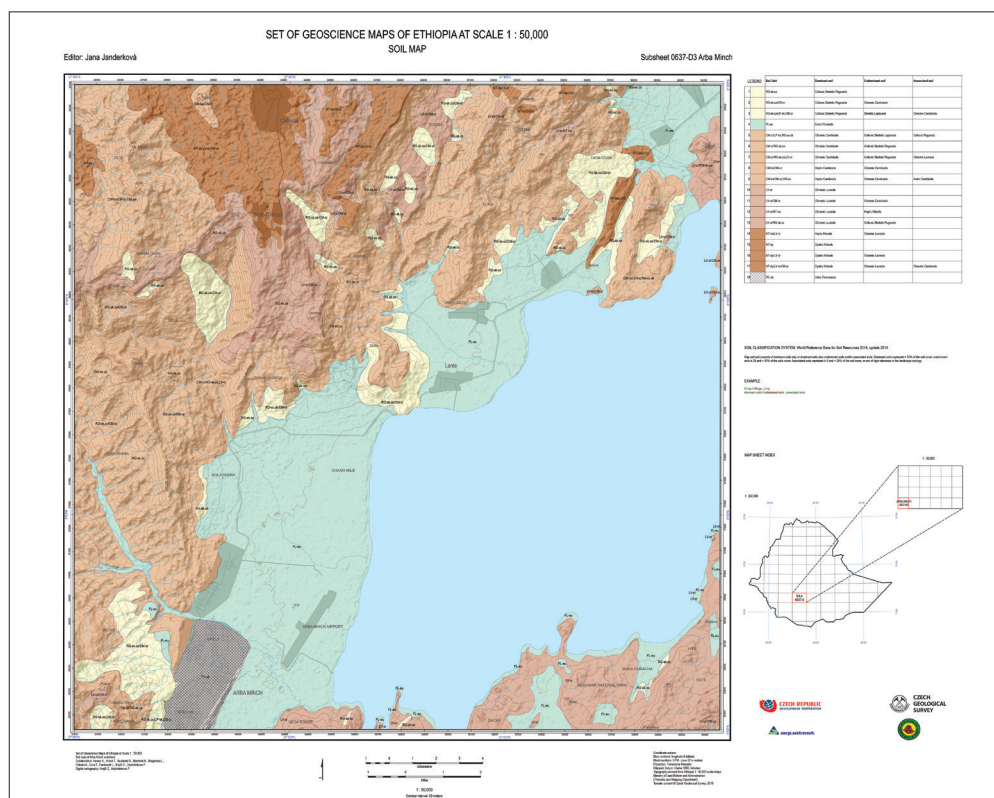
1.1.1. Současný stav v oblasti geologického mapování a regionálního výzkumu v ČGS

Aktuální projekt „Základní geologické mapování ČR v měřítku 1 : 25 000“ zahrnuje tvorbu 18 geologických a řady aplikovaných map společně s vysvětlujícím textem. Mapové listy jsou v různém stupni rozpracování. Mapování probíhá v osmi oblastech (Železné hory, Novohradské hory, Pošumaví, Český ráj, Brdy, střední Morava). Součástí nově dokončovaných vysvětlivek ke geologickým mapám 1 : 25 000 jsou údaje získané terénním výzkumem i výsledky laboratorních analýz půd, hornin a vod. Orgány státní správy a odborná veřejnost v nich najdou informace o ochranných pásmech podzemních vod, o rozsahu svahových nestabilit a nerostných zdrojích. Zároveň jsou zde vytipována místa, která si zasluhují ochranu z pohledu geologie nebo krajinné ekologie. Od roku 2003 jsou dokončené geologické mapy postupně zpřístupňovány veřejnosti na geologickém mapovém serveru cgs.gov.cz. Databáze geologických dokumentačních bodů v současné době obsahuje více než 115 700 záznamů. Data

Základní geologická
mapa ČR 1 : 25 000 –
list Brno-sever 24-324.



Půdní mapa
1 : 50 000 z jižní části
Etiopie (list 0637-D3
Arba Minch).



získaná v průběhu mapování přispívají k lepšímu pochopení geologického vývoje studovaných oblastí a umožňují vznik řady odborných publikací.

Geologické mapování v zahraničí je současně s geologickým výzkumem směřováno i na vymezení a zhodnocení geologických rizik v tektonicky aktivních oblastech. Mezi přímé

ekonomické přínosy pro danou rozvojovou oblast patří i záznamy o nových výskytech nerostných surovin a vodních zdrojů. Výzkum a mapování probíhají ve variském pásu (severní Afrika, Pyreneje, Český masiv, Centrální masiv ve Francii, Vogézy), v karpatském oblouku, v centrální Asii (oblast západního Mongolska, severní Číny, Tibetu a Himálaje), v subsaharské Africe (Etiopie, Namibie), v severoamerických Kordillerách a v Antarktidě.

1.1.2. Strategické cíle výzkumu 2023–2027

- ČR – projekt základního geologického mapování: 18 geologických map s vysvětlivkami a 26 odvozených geovědních map v měřítku 1 : 25 000.
- ČR – tisk ZGM25: Křivoklátsko, Brněnsko, Šumava.
- ČR – tvorba monografií shrnujících poznatky z ucelených mapovaných oblastí.
- ČR – geologické mapování oblastí spjatých s jadernou energetikou (úložiště jaderného odpadu).
- Evropské variscidy na příkladu Českého masivu – geologická interpretace, geofyzikální mapy (gravimetrie, magnetismus) v měřítku evropského variského pohoří a v měřítku jednotlivých zájmových lokalit.
- Zdroje, geneze a korelace variských magmatických komplexů v Českém masivu a zahraničí (Centrální masiv ve Francii, Vogézy, Západní Karpaty...).
- Mapování a výzkum v příhraniční oblasti Novohradských hor a Šumavy (spolupráce s Geologische Bundesanstalt ve Vídni a Univerzitou v Salcburku).
- Západní Karpaty – vyřešení hranice jura – křída ve spolupráci JU Krakov (Polsko) a GÚ SAV Bratislava (Slovensko).
- Afrika – komplexní výzkum geologické stavby a litologie, který zahrnuje zhodnocení možných geologických rizik v tektonicky aktivní oblasti východoafrického riftového systému v jižní Etiopii (projekt zahraniční rozvojové spolupráce); rozvoj geovědních dovedností v afrických geologických službách – mapování a dálkový průzkum Země (spolupráce s EuroGeoSurveys na projektu PanAfGeo).
- Latinská Amerika – rozvoj geovědních dovedností v geologických službách Latinské Ameriky – mapování, GIS modelování, dálkový průzkum Země, výzkum a vyhledávání nerostných surovin a jejich alternativních zdrojů, zhodnocení dopadu těžby na životní prostředí, studium a zhodnocení přírodních rizik včetně hydrogeologických studií a modelování.
- Centrální Asie – mapové výstupy v různých měřítcích vznikají v rámci projektů, které se zabývají studiem a modelováním akrečního vývoje orogénu na příkladu Mongolského Altaje (EXPRO GAČR) a bilaterální spolupráce s Mongolskou geologickou službou.
- Antarktida – výzkum paleontologického a sedimentologického materiálu získaného během předchozích expedic ČGS.
- USA – strukturní a geochronologický výzkum v oblasti severoamerických Kordiller (spolupráce s University of Houston-Downtown).

1.2. POROZUMĚNÍ ENDOGENNÍM PROCESŮM V MINULOSTI A V SOUČASNOSTI

K. SCHULMANN, V. JANOUŠEK, P. HASALOVÁ

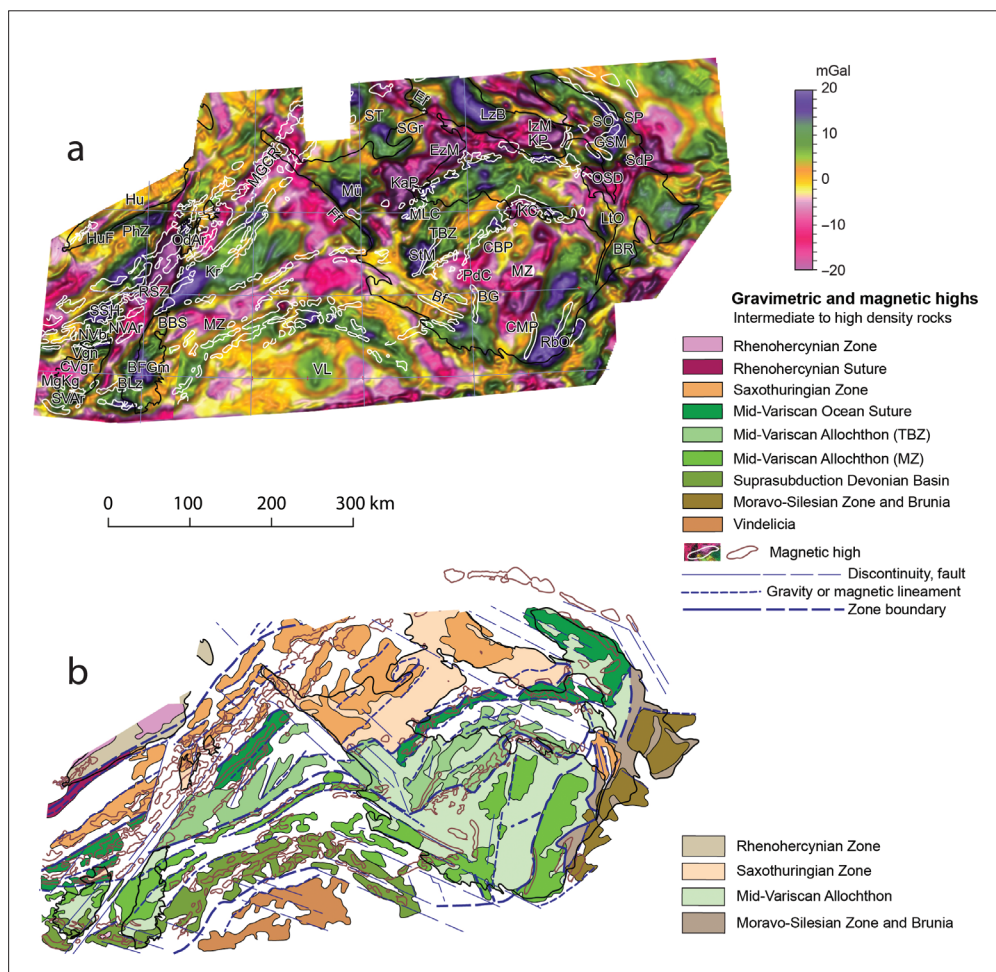
Problematika vzniku a vývoje zemské kůry a její interakce s pláštěm jsou v geologických vědách velmi významné a ČGS jim proto věnuje příslušnou pozornost. Studium různých aspektů této výzkumné tematiky vyžaduje nasazení a interakci široké palety odborníků: strukturních

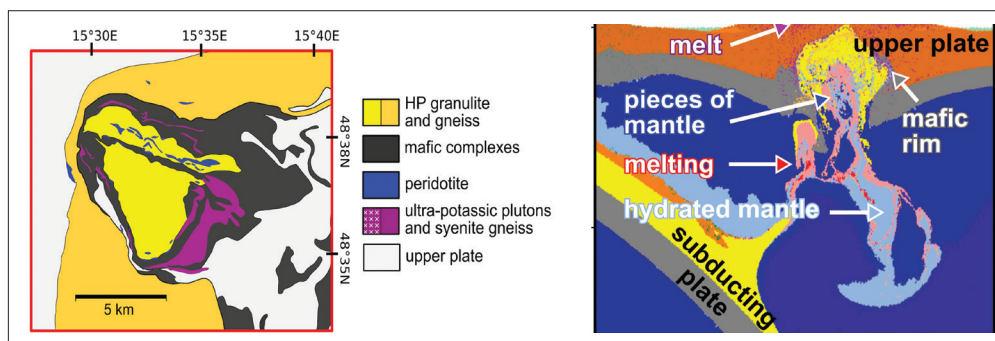
geologů, geofyziků, petrologů, mineralogů a geochemiků, jakož i expertů na DPZ a na numerické a analogové modelování. Velkou výhodou ČGS je, že disponuje řadou specialistů. Ti mají pevné zázemí v mapovacích a regionálněgeologických projektech i v projektech základního výzkumu, ať již financovaných GAČR, nebo v mezinárodních projektech, které byly úspěšně ukončeny nebo jsou řešeny v ČR i zahraničí. ČGS má rovněž pevné zázemí ve svých laboratořích, které nabízejí kromě jiného i moderní geochemické a izotopové metody. Navíc existence Centra litosférického výzkumu v ČGS, založeného v roce 2012 v rámci programu MŠMT „Návrat“, napomohlo k nebývalému rozvoji výzkumu litosféry v ČR. To přispělo k získání projektu GAČR EXPRO a intenzivní spolupráci se špičkovými centry výzkumu geověd v zahraničí, jako jsou ETH Zurich, IPGS Strasbourg, GFZ Potsdam, Imperial College London a další pracoviště v Evropě, Austrálii a USA.

1.2.1. Současný stav výzkumu v ČGS

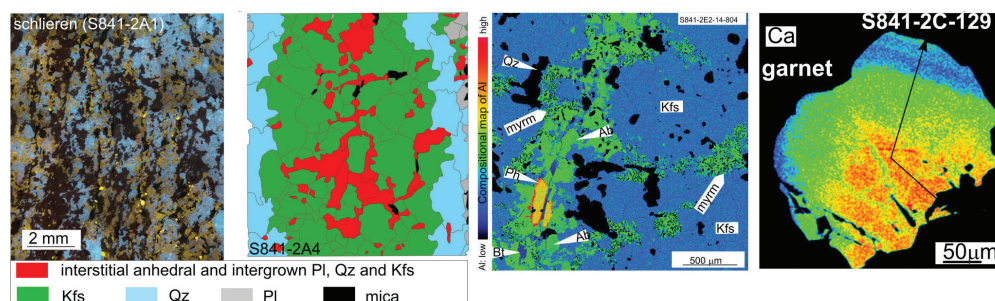
Tato kapitola zahrnuje petrologický, strukturně tektonický a geochemický výzkum orogenních procesů spjatých s kontinentální kolizí a akrecí oceánské kůry. Regionálně je výzkum zaměřen na oblasti variscid Evropy a severní Afriky, středoasijského orogenního pásu v Mongolsku a severní Číně, Tibetu a v Himálaji a panafrických orogénů jižní Afriky, Brazílie a Uruguaye. Tyto výzkumy zahrnují i procesy korového růstu, recyklace kůry, tečení magmat a deformace, reologie

Mapa gravitačních a magnetických anomálií evropských variscid (a) a jejich geologická interpretace (b).





Srovnání numerického modelu vzniku UHP hornin (vpravo) s geologickou mapou (granulitový komplex St. Leonhard, vlevo).



Mikrostrukturní analýza hornin se záznamem parciálního tavení (2 obrázky vlevo) a analýza chemického složení vysokotlakých minerálů (2 obrázky vpravo).

kůry a struktury a formování kůry za použití široké škály metod od metamorfni a magmatické petrologie přes geofyziku, prvkovou a izotopovou geochemii, geochronologii, strukturní geologii až po numerické a analogové modelování. Výzkumy jsou z velké části podporovány aktivními projekty GAČR, jakož i dalších grantových agentur.

1.2.2. Strategické cíle výzkumu 2023–2027

● Geodynamika kolizních a akrečních orogenních systémů

- Studium geofyzikálního obrazu recentních (Himálaj/Tibet) i fosilních orogénů (variské pohoří v Evropě a severní Africe a středoasijský orogenní pás).
- Geologické, geochemické a geochronologické studium kolizních a akrečních orogenních systémů, jejich laterální a vertikální zonality a vývoje v prostoru a čase. Srovnání mladých, dosud nedostatečně odkrytých orogénů a starších, silně erodovaných horninových komplexů variscid a středoasijského orogenního pásu v Mongolsku a Číně.
- Numerické a analogové modelování reologie kůry, korového toku, termální historie a kinematiky tvorby kolizních a akrečních pohoří na příkladu variscid, Tibetu a paleozoických akrečních systémů.
- Charakteristika a důležitost procesů kontinentálního růstu pro vznik superkontinentů jako Rodinia a Pangea a jejich následného rozpadu za pomoci teránové analýzy, geochronologických a paleomagnetických dat.
- Pochopení mechanismu akrece fragmentů oceánské kůry na okrajích velkých kontinentů, jejich přeměny na kůru kontinentálního typu a vznik stabilní kontinentální kůry na příkladu středoasijského orogenního pásu.
- Složení a petrogenese ofiolitových komplexů a jejich význam pro lokalizaci a charakteristiku paleosutur.
- Studium strukturního a geochronologického záznamu vrcholných metamorfních podmínek spojených s procesy korového podtékání a následné exhumace hluboce subdukováných hornin.

- Popis petrologických a chemických změn během metamorfózy v podmínkách granulitové facie, termodynamické modelování P–T–t drah hornin interagujících se svrchním pláštěm na příkladu Českého masivu.
- Vysokoteplotní a nízkoteplotní termochronologie tektonometamorfních procesů spojených s deformací kontinentů.

- **Variabilita a dynamika spodní kůry a zemského pláště**

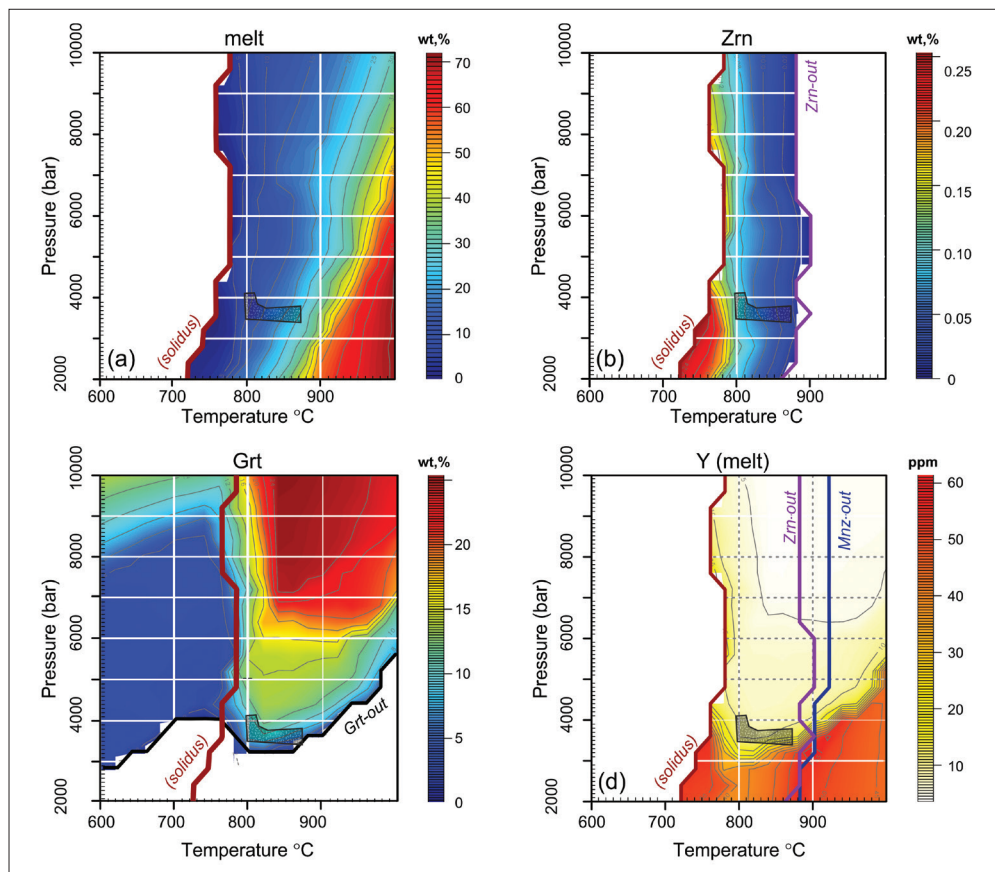
- Distribuce, povaha, protolity a metamorfní podmínky HP–UHP metamorfovaných komplexů a jejich geotektonický význam.
- Procesy HP–UHP parciálního tavení různých krustálních hornin v granulitové/eklogitové facii.
- Přenos materiálu mezi zemskou kůrou a pláštěm v oblasti konvergentních orogénů.
- Příčiny, časování a mechanismus relaminace hluboce subdukované felsické kontinentální kůry v kořenové doméně kolizních orogénů – zejména v evropských variscidách.
- Plášťová metasomatóza a její důsledky pro genezi kontrastních magmat.
- Variabilita petrologického a geochemického složení zemského pláště (studium plášťových xenolitů, orogenních peridotitových masivů, inverze složení bazaltových magmat).
- Studium procesu pervazivního toku silikátové taveniny kůrou pomocí geochemických a mikrostrukturních metod a numerického modelování.
- Redistribuce radioaktivních prvků ve střední a spodní kůře a výnos tepla v měřítku horninových masivů a celého variského orogénu.

- **Orogenní a postorogenní magmatismus**

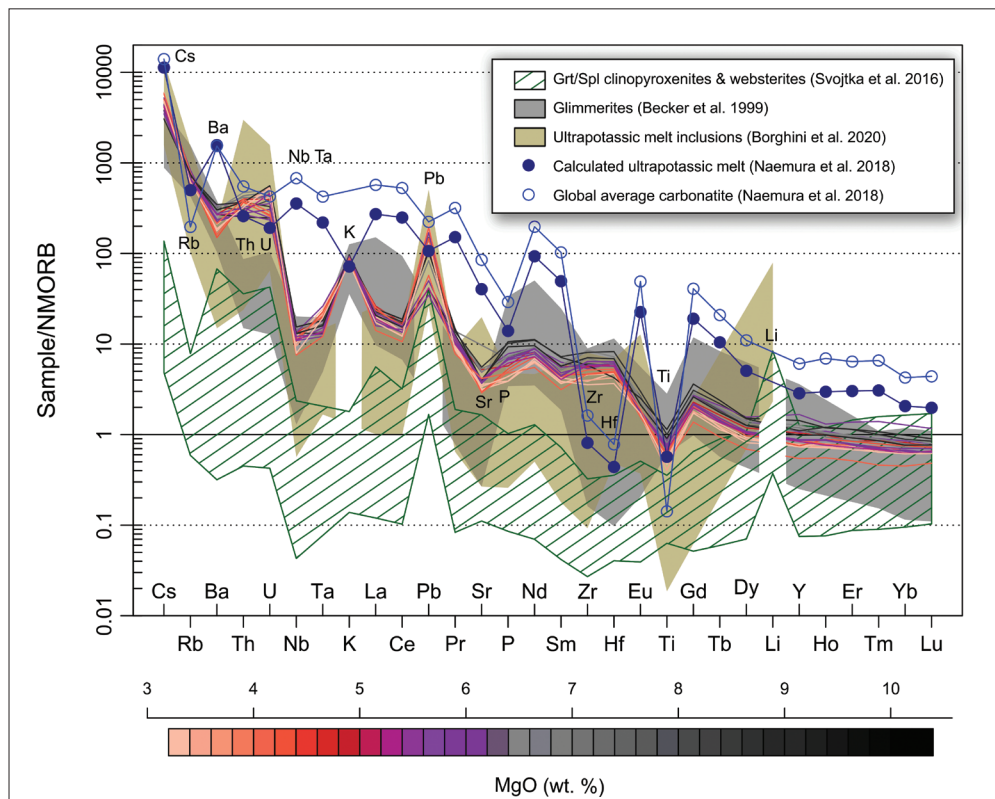
- Struktura a vnitřní stavba plutonů, jejich časoprostorová distribuce a mechanismus vmístění v kontextu strukturního a geodynamického vývoje hostitelských jednotek.
- Petrologie, složení a geneze vyvřelých hornin v různých geotektonických prostředích (aktivní kontinentální okraje, kolizní/akreční orogény, pozdně- a postorogenní magmatismus):

Roj nejrůznějších typů enkláv (mafické, magmatické, meta-karbonátové, rohovce), uzavíraný silně hybridním kozárovickým granodioritem. Lom Solopysky, středočeský plutonický komplex.





Výsledky termodynamického modelování parciálního tavení moldanubických pararul a vzniku melechovského plutonu v prostředí Perplex/GCDkit.



Normalizované multiprvkové vzory ultradraselých hornin třebečského plutonu, ilustrující silné obohacení K, Th a U. To má za následek jejich zvýšenou produkci radiogenního tepla.

Zdroje magmatu, fyzikálně-chemické podmínky a mechanismus parciálního tavení, role frakční krystalizace/akumulace vs. krustální asimilace, hybridizace magmat.

- Evoluce orogenního granitoidního magmatismu v prostoru a čase jako odraz různých zdrojů, P–T podmínek parciálního tavení, deformace a fluidního režimu ve střední a spodní kůře.
- Petrogenetické procesy spjaté s aktivními i fosilními magmatickými oblouky; zdroje, složení a příčiny zaobloukového vulkanismu.
- Vznik (ultra)draselných magmat z anomálních litosférických plášťových domén (plášťová metasomatóza, kontaminace hluboce subdukovanou kůrou) a další vývoj těchto magmat během jejich výstupu/vmístění v kůře.
- Vývoj softwaru pro prezentaci a numerické modelování geochemických dat magmatických a metamorfovaných hornin, vč. integrace zavedených nástrojů pro termodynamické modelování metamorfovaných hornin a jejich tavenin (např. Perplex, MELTS).
- Studium produkce tepla různých typů granitoidů se specifickým zaměřením na (ultra-)draselná magmata. Modelování distribuce tepla ve spodní kůře ochuzené o prvky produkující teplo díky tavení hluboce subdukované kůry a pláště a akumulace magmat obohacených radioaktivními prvky ve střední a svrchní kůře.

● Vnitrodeskový magmatismus a magmatismus spjatý s rifty

- Variabilita petrologického a chemického složení a procesů, vedoucích ke vzniku anorogenních granitoidních plutonů (A-typu).
- Variabilita plášťových zdrojů a diferenciace bazických riftových magmat, zejména procesy frakční krystalizace a/nebo krustální asimilace.
- Vulkanologie intra-kontinentálních riftů (např. Český masiv, východoafrický rift).
- Vznik kyselých alkalických magmat v intrakontinentálních riftech, role různých korových rezervoárů vs. pokročilé frakční krystalizace.
- Geneze a geotektonický význam bazaltů středooceánských riftů (MORB) a tavení ochuzeného pláště.
- Petrogeneze karbonatitových magmat ve starých kratonech (např. jižní Afrika, Indie).

1.3. VÝZKUM LITOSFÉRY PRO ÚČELY UKLÁDÁNÍ RADIOAKTIVNÍHO ODPADU

Z. BUKOVSKÁ

Již od raného středověku člověk buduje podzemní důlní díla, v posledním století pak stále častěji umísťuje pod povrch Země stavby, úložiště, hluboké těžní/geotermální vrty apod. Zkušenosti získávané během všech těchto činností ukazují, že horninové prostředí je silně heterogenní a jeho využívání, v mnoha případech velmi žádoucí, s sebou nese široké spektrum rizik.

Pro efektivní a zároveň bezpečné využívání horninového prostředí je nezbytná detailní znalost stavby zemské kůry. Jde zejména o definici geometrie základních litologických celků, míry homogenity jednotlivých horninových bloků, průběhu zlomových struktur a dalších tektonických prvků. Bez těchto údajů nelze navrhnout optimální využití surovinových zdrojů, optimální geometrii podzemních staveb ani dimenzovat inženýrské bariéry a objektivně zhodnotit jejich bezpečnost. Co nejpřesnější specifikace geologické situace a zejména tektonické stavby je základním předpokladem pro případné navazující modely a simulace (geomechanické, hydrogeologické apod.).

1.3.1. Současný stav výzkumu v ČGS

Česká republika dlouhodobě připravuje výstavbu hlubinného úložiště radioaktivních odpadů (HÚ). HÚ by mělo být lokalizováno v krystalinických horninách, které budou společně s dalšími materiály tvořit přirozenou bariéru. Pro výběr lokality a realizaci samotného úložiště je nezbytný rozsáhlý výzkum nejen horninového prostředí, ale také používaných přístupů a materiálů, realizovaný v podzemních laboratořích, např. v PVP Bukov. ČGS dlouhodobě realizuje projekty tohoto zaměření a aktivně přispívá k popisu a klasifikaci geologického prostředí pro budoucí úložiště. Mimo úložiště radioaktivních odpadů poskytuje ČGS data a 3D modely pro přípravu umístění dalších jaderných zařízení, např. nových jaderných bloků v elektrárně Dukovany.

Pro tyto účely umožňují metody modelování a vizualizace 3D stavby zemské kůry pokročilé využití multidisciplinárních geologických dat a jejich uplatnění pro extrapolaci geologické stavby, známé z povrchu do kilometrových hloubek nově vytvářených geologických 3D modelů. Dále jsou využívána distanční data metodami dálkového průzkumu Země, např. satelitní data, data získávaná bezpilotními letadly apod.

1.3.2. Strategické cíle výzkumu 2023–2027

Projekty probíhají ve spolupráci se Správou úložišť radioaktivních odpadů (nebo jsou pro ni realizované). Soustředí se na poznání geologické stavby a podmínek potenciálních lokalit, stávajících úložišť radioaktivních odpadů a na experimentální projekty realizované v podzemních laboratořích. Dále tato část zahrnuje projekty pro umístění dalších jaderných zařízení.

Činnosti

- základní geologický výzkum a mapování,
- specializované strukturní, morfostrukturní a geomorfologická studie,
- 3D modelování a vizualizace geologické stavby,
- přenos informací o hloubkové geologické stavbě do sféry projektantů a tvůrců počítačových simulací,
- rozvoj a využití metod dálkového průzkumu Země – vývoj automatizovaných analytických nástrojů, rozvoj dílčích metod, např. radarové interferometrie pro detekci svahových pohybů a dlouhodobý monitoring stability území,
- využití distančních dat pořízených bezpilotními letadly (UAV).

Projekty

- Horizontální spolupráce SÚRAO–ČGS v oblasti geologických prací na území potenciálních lokalit hlubinného úložiště: geologické a hydrogeologické mapování, strukturní, morfostrukturní, geomorfologická analýza a DPZ, popis a speciální analytika vrtných jader, validace a aktualizace strukturněgeologických modelů, DFN modely, definice geologických úloh, supervize dodavatelských prací, vyhodnocení geologických prací a datamanagement.
- Geologická a geotechnická charakterizace horninového prostředí – PVP II.
- Pilotní korozní experiment v PVP Bukov.
- Monitoring teploty horninového masivu v PVP Bukov a dolu Rožná I.
- Výzkum puklinové konektivity v PVP Bukov.
- Výzkumná podpora pro bezpečnostní hodnocení technického řešení hlubinného úložiště,
- Příprava bezpečnostních rozborů pro periodické hodnocení bezpečnosti provozovaných úložišť radioaktivního odpadu.
- Zpracování geologického modelu pro elektrárnu Dukovany II.
- Další projekty pro poznání potenciálních lokalit jaderných zařízení, zajištění bezpečnosti prostředí jaderných zařízení a související výzkumné práce.

2/ Výzkum globálních změn, biosféry a sedimentárního záznamu

J. FRÝDA, S. VODRÁŽKOVÁ, Š. MANDA, Z. ŠIMŮNEK, R. LOJKA,
V. RAPPRICH, R. NÁDASKAY, Z. TASÁRYOVÁ, D. NÝVLT, J. HOŠEK

V současnosti patří výzkum vývoje biodiverzity a globálních změn k nejintenzivněji studovaným vědeckým tématům a je často podporován i širší společností mimo akademickou sféru (viz např. Národní priority orientovaného výzkumu ČR). Většina vědeckých týmů se zaměřuje na výzkum biodiverzity současných ekosystémů, globálních změn ve složení atmosféry a oceánů nebo změn klimatických.

Velkou výhodou takového zaměření je možnost studovat téměř libovolné množství fyzikálních, chemických a biologických faktorů. Naopak značnou nevýhodou studia současně probíhající globálních změn a biodiverzity je skutečnost, že v krátkém časovém úseku je změna většiny studovaných faktorů velmi malá a zjištěné trendy jsou často statisticky nevýznamné. Tento nedostatek může být odstraněn, pokud studium vývoje biodiverzity a globálních změn provádíme na delších časových intervalech (tj. v geologické minulosti), neboť změny v amplitudě sledovaných faktorů jsou často o mnoho řádů větší než změny v současnosti. Z tohoto důvodu je v ČGS výzkum globálních změn, biosféry a sedimentárního záznamu zaměřen převážně na vybrané úseky geologické minulosti. Hlavním cílem studia jsou globální události (bioeventy), které výrazně ovlivnily vývoj globální biodiverzity mořského nebo terestrického ekosystému a jsou spojeny s globální změnou klimatu a proměnou chemického složení atmosféry a oceánů. Výzkum je rovněž zaměřen na analýzu vlivu vulkanické aktivity na fosilní i recentní ekosystémy.

V rámci analýzy vývoje kvartérního prostředí a studia exogenních geologických procesů budou pokračovat vědecké aktivity zaměřující se na paleoenvironmentální a geochronologické analýzy klíčových období kvartéru především v oblasti střední Evropy. Plánovaný výzkum globálních změn, biosféry a sedimentárního záznamu, rozdělený mezi následující čtyři intenzivně spolupracující týmy, je nutně multidisciplinární a zahrnuje použití paleontologických, sedimentologických, geochemických, paleoekologických, stratigrafických, biogeografických a numerických metod.

2.1. VÝZKUM GLOBÁLNÍCH ZMĚN A VÝVOJE MOŘSKÝCH EKOSYSTÉMŮ

J. FRÝDA, Š. MANDA, S. VODRÁŽKOVÁ

Studium vývoje biodiverzity a biotických krizí v mořském ekosystému bude zaměřeno na paleozoikum, mezozoikum a kenozoikum a naváže na předcházející a probíhající výzkumy. Světová výjimečnost českého mořského paleozoika, které patří k nejlépe prozkoumaným mořským sekvencím, umožňuje testovat nové výsledky výzkumu na rozsáhlých souborech paleontologických a sedimentologických dat. Výzkum vývoje biodiverzity a biotických krizí není rovněž možný bez znalosti změn hydrosféry a atmosféry. Takové údaje může poskytnout



Výchozy spodního siluru
na Gotlandu.

aplikace některých nových geochemických metod. Komplexní výzkum využívající hlavních i stopových prvků a několika tradičních i netradičních izotopových systémů jako indikátorů různých procesů (např. rychlosti zvětrávání a transportu prvků do oceánských pánví, rychlosti precipitace karbonátů v mořských pánvích, míry salinity, obsahu CO_2 v atmosféře, průměrné teploty mořské vody atd.) může poskytnout klíč k nalezení příčin a pochopení mechanismů globálních biologických krizí. Zvláštní pozornost v rámci plánovaného výzkumu bude zaměřena na prokázání podílu fosilních mikrobiálních společenstev na precipitaci minerálů, což je jedním z klíčových problémů geologie a relativně nového, rychle se rozvíjejícího oboru geobiologie. Výsledky nejnovějších studií naznačují, že existuje příčinná souvislost mezi vrcholy výskytu mikrobiálních facií v sedimentárním záznamu a událostmi hromadného vymírání. Postpaleozoické environmentální změny budou studovány ve dvou klíčových oblastech: v české křídové pánvi, a v oblasti moravských Karpat. Česká křídová pánev (ČKP) představovala díky své unikátní paleogeografické pozici důležitou bránu mezi boreální a tethydní říší a byla tak oblastí citlivou na změny paleooceánografických a klimatických podmínek. Sedimentární sledy moravských Karpat poskytují jedinečnou možnost studia biotických krizí klíčových intervalů, jako je hranice křída-paleogén (tato úroveň patří mezi tzv. „velkou pětku“ hromadných vymírání v historii Země), hranice jura-křída a dále bioeventů v oligocénu a miocénu. Při výzkumu ČKP a moravských Karpat bude aplikován multidisciplinární přístup s použitím metod sekvenční stratigrafie, biostratigrafie a analýzy tafocenóz, chemostratigrafie, faciální a mikrofaciální analýzy.

Studium vývoje biodiverzity a biotických krizí v mořském ekosystému bude v období 2023–2027 zaměřeno především na:

- kvantitativní analýzu vývoje biodiverzity modelových skupin bentických a planktonních organismů před nejvýraznějšími globálními krizemi, v jejich průběhu a po nich,
- analýzu vztahu vývoje biodiverzity a změn abiotických faktorů životního prostředí v průběhu globálních krizí mořského ekosystému,

Rozpadlé schránky
gigantických hlavonožců
silurského stáří, Maroko.



- porovnání mechanismu studovaných krizí, formulaci obecného modelu a jeho porovnání s modely popisujícími současné globální změny,
- sestavování kritérií biogenicity, a to metodami paleontologickými, petrografickými a geochemickými (analýzou stopových prvků a prvků vzácných zemin metodou LA-ICP-MS),
- studium vztahu výskytu mikrobiálních facií k environmentálním změnám a biotickým krizím metodami kvantitativní paleontologie, petrografie a mikrofaciální analýzy,
- studium změn globálního cyklu uhlíku a síry v průběhu paleozoických krizí,
- užití hlavních i stopových prvků a tradičních i netradičních izotopových systémů (C, Sr, Cr, Ca, Mg atd.) jako indikátorů procesů spojených s globálními biologickými krizemi,
- studium biomarkerů jako indikátorů změn ve složení hlavních primárních producentů v mořském ekosystému,
- studium změn biomineralizačních strategií organismů v průběhu globálních krizí mořského ekosystému,
- studium chování některých netradičních izotopových systémů v současných oceánech,
- návrh nové konodontové, tentakulitové a skolekodontové biostratigrafie středočeského paleozoika,
- aktivní práci v mezinárodních stratigrafických subkomisích (International Commission on Stratigraphy, IUGS) a projektech IGCP,
- návrh nových mezinárodních silurských stratotypů stupňů aeron a homer.

2.2. VÝZKUM GLOBÁLNÍCH ZMĚN A VÝVOJE TERESTRICKÝCH EKOSYSTÉMŮ

Z. ŠIMŮNEK, R. LOJKA

Studium vývoje biodiverzity a biotických krizí v terestrickém ekosystému bude zaměřeno především na mladší paleozoikum a na kvartér a naváže na předcházející a probíhající výzkumy. Předchozí paleobotanické a sedimentologické výzkumy permokarbonských pánví Českého

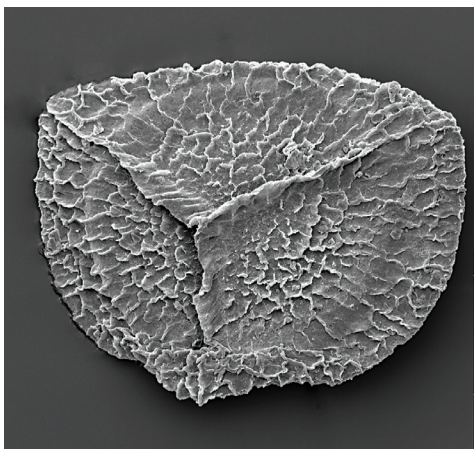


Odebírání uhlých vzorků na macerace z vrtů v hornoslezské pánvi.

masivu, po doplnění detailnějšími daty z klíčových časových intervalů, poskytují možnost rozsáhlé analýzy vývoje terestrické flóry v průběhu výrazných globálních klimatických změn mladšího paleozoika. Současně bude probíhat i regionální a nadregionální rekonstrukce environmentálních změn v kvartéru (upřesnění hranice neogénu a kvartéru, hranice pleistocénu a holocénu, výzkum holocénu) v prostoru střední Evropy pomocí instrumentální analýzy dobře stratifikovaných sedimentárních sekvencí (rašeliny). Část výzkumu bude spolufinancována prostřednictvím GAČR.

Studium vývoje biodiverzity a biotických krizí v terestrickém ekosystému bude v období 2023–2027 zaměřeno především na:

- cyklostratigrafii radioizotopicky datovaných sekvencí, které umožní globální korelaci sedimentárních záznamů vybraných parlických kontinentálních pánví ve vysokém rozlišení,
- studium kutikulárních a palynologických společenstev permokarbonských sedimentů,
- rozpracování klasifikace dispersních kutikul, její využití při vyhodnocování kutikulárních spekter uhlých slojí,
- výzkum spor „in situ“, tj. spor izolovaných přímo z fertilních orgánů mateřských rostlin,
- analýzu floristických a paleoekologických změn v průběhu globálních krizí karbonského a permského terestrického ekosystému,
- porovnání mechanismu studovaných krizí a formulaci obecného modelu vztahu biodiverzity permokarbonských flór a globálních změn klimatu,
- analýzu paleopůdních obzorů jako paleoklimatických archivů,



Megaspore *Triangulatisporites tertius* od bylinných plavuní rodu *Selaginella*, Radčice u Plzně, karbon.

- rekonstrukci prostředí a paleoklimatických podmínek sedimentace pomocí sedimentologie fluvialních sérií a sedimentologie a geochemie jezerních sekvencí,
- studium organických sedimentů na hranici neogén–kvartér a pleistocén–holocén v oblasti Hornomoravského úvalu, Krušných hor, Jizerských hor, Českomoravské vrchoviny a dalších vybraných regionů na základě rekonstrukce vývoje vegetace a klimatu, zároveň posouzení vlivu člověka na ekosystémy (hornictví, sklářství, těžba dřeva, vliv na vznik povodní).

2.3. INTERAKCE VULKANISMU SE SEDIMENTÁRNÍM PROSTŘEDÍM A BIOSFÉROU

V. RAPPRICH, R. NÁDASKAY, Z. TASÁRYOVÁ

Vývoj sedimentárních systémů je výrazně ovlivňován vulkanickou aktivitou, která může dodávat jak klastický materiál, tak i mobilní mineralizovaná fluida, případně měnit topografii sedimentárních pánví. Na druhou stranu je charakter vulkanické aktivity výraznou měrou ovlivňován prostředím, ve kterém probíhá. Detailní studium vulkanoklastických uloženin tak může doplňovat údaje o charakteru sedimentárního prostředí, včetně odhadu hloubky, a jeho vývoji. Výzkum v rámci tohoto tématu bude proto zaměřen na interakce vulkanické aktivity s prostředím a jejich využití při rekonstrukci vývoje prostředí daného sedimentárního systému v geologickém záznamu. V kombinaci s výzkumem recentních vulkanických systémů toto studium šířeji přispívá k porozumění vulkanické aktivity, včetně lepšího pochopení možných rizik, ale i zdrojů spojených se sopečnou činností.

Sekvence pyroklastických
uloženin reliktu
miocenního tufového
kužele Krásný vrch
v sokolovské pánvi.



Vulkanoklastické uloženiny se vyznačují epizodickým, zato však náhlým uložením větších mocností materiálu, což zvyšuje šance na konzervaci pohřbených organismů, pokud nedojde během ukládání k jejich destrukci. Vulkanoklastické horniny navíc díky vysokému reakčnímu povrchu a vysokému podílu skla velmi snadno uvolňují minerální složky, které mohou prostupovat pohřbenými fosiliemi a petrifikovat je. Samotný proces petrifikace je důležitým dílčím tématem této kapitoly výzkumu, neboť vulkanosedimentární sekvence v Českém masivu nabízejí širokou škálu vulkanoklastických uloženin, obsahujících zbytky dřev petrifikovaných různými minerálními asociacemi.



Karbonatizovaný kmen pohřbený lokální freatomagmatickou erupcí – oligocén, Rokle u Kadaně.

Studium interakce vulkanismu se sedimentárním prostředím a biosférou bude v období 2023 až 2027 zaměřeno především na:

- výzkum neobvyklých scénářů erupční historie některých drobných fosilních vulkánů v souvislosti s jejich pozicí ve specifických prostředích,
- výzkum geologického záznamu hydrotermálních systémů spojených s vyhasínajícími nebo vyhaslými vulkány,
- studium procesů tvorby a ukládání vulkanoklastických hornin s paleontologickým obsahem,
- studium permineralizace fosilních dřev pohřbených vulkanickými procesy, zejména zdroj permineralizačních roztoků a průběh impregnace v závislosti na typu dřeva a charakteru vulkanoklastické uloženiny.

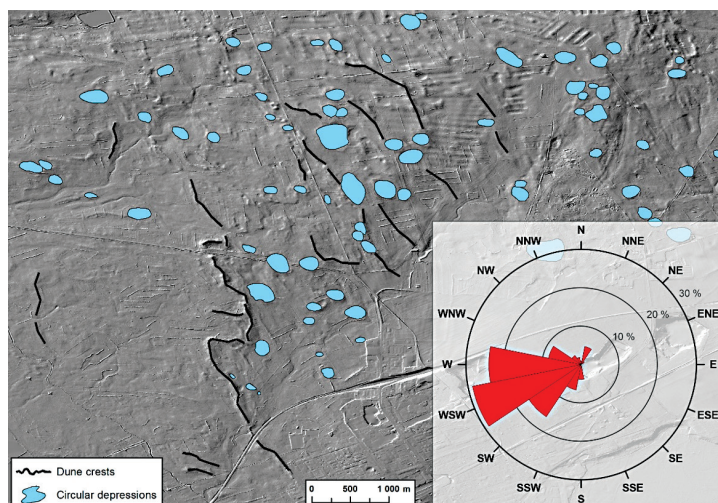
2.4. VÝVOJ KVARTÉRNÍHO PROSTŘEDÍ A STUDIUM EXOGENNÍCH GEOLOGICKÝCH PROCESŮ

D. NÝVLT, J. HOŠEK

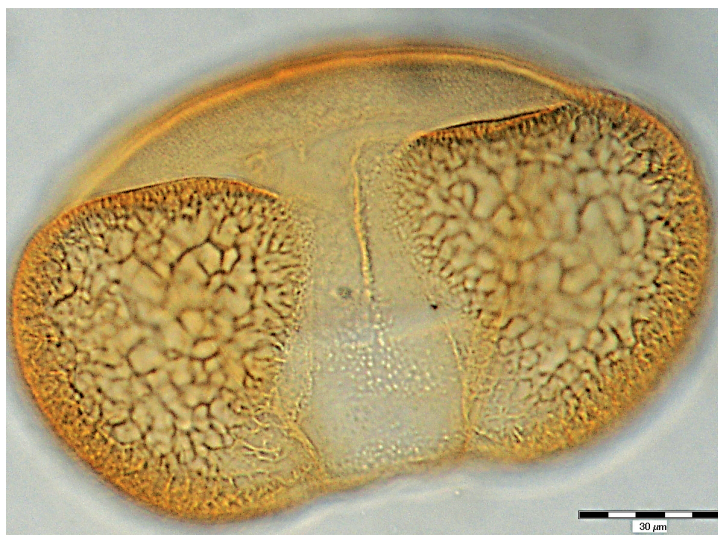
V rámci základního výzkumu budou pokračovat vědecké aktivity zaměřující se na paleoenvironmentální a geochronologické analýzy klíčových období kvartéru, především v oblasti střední Evropy. Jedná se zejména o přechodové období spodního a středního pleistocénu (tzv. středopleistocenní revoluce) a období termination I (přechod pleistocénu do holocénu), kdy docházelo k zásadním změnám ve formování krajiny a společenstev organismů. Pokračovat bude výzkum dynamiky periglaciálních, fluválních a eolických procesů, stejně jako výzkum dynamiky a průběhu pleistocenního



Odběr vzorku pro expoziční datování deglaciace na Long Islandu u Antarktického poloostrova.



Termokrasové deprese a eolické duny pocházející z pozdního glaciálu v oblasti severně od Hodonína.



Pyl smrku (*Picea*), kvartér.

kontinentálního zalednění v oblasti střední Evropy. Nově bude studována dynamika dlouhodobého geomorfologického vývoje a denudační chronologie Českého masivu pomocí terestrických kosmogenních radionuklidů.

Zvláštní pozornost bude soustředěna na oblast severního okraje vídeňské pánve, kde lze ve velkém detailu rekonstruovat environmentální a geobiologické procesy období vrcholného pleniglaciálu až počátku holocénu. Tato oblast navíc poskytuje možnost velmi přesně datovat tektonickou aktivitu ve vídeňské pánvi v období svrchního pleistocénu, stejně jako probíhající exogenní geomorfologické procesy. V pískovcových oblastech křídové pánve bude pokračovat výzkum týkající se rekonstrukce erozně-sedimentačních procesů ve vztahu ke klimatickým změnám.

Dlouhodobý výzkum v oblasti souostroví Jamese Rosse u Antarktického poloostrova se zaměří na časový průběh deglaciace, vedoucí ke vzniku největších odledněných ploch v oblasti Antarktického poloostrova, stejně jako na dynamiku environmentálního a klimatického vývoje během holocénu, rekonstruovanou z jezerních záznamů. Řadu zajímavých poznatků o vlivu klimatu a tektonické aktivity na prehistorické civilizace by měly poskytnout geoarcheologické výzkumy probíhající v oblasti Ohridského jezera v Severní Makedonii a v pohoří Šakadúd v centrálním Súdánu.

3/ Nerostné suroviny pro udržitelný ekonomický rozvoj

M. POŇAVIČ, B. KŘÍBEK

3.1. SOUČASNÝ STAV LOŽISKOVĚGEOLOGICKÉHO VÝZKUMU V ČGS

V současné době řeší ložiskoví geologové a technologové České geologické služby řadu národních i mezinárodních projektů zaměřených na výzkum surovinové základny České republiky a Evropské unie v podmínkách udržitelného rozvoje. Výzkumné činnosti jsou orientovány zejména na studium ložisek rud, včetně kritických kovů, nerud, stavebních i energetických surovin. Pozornost je věnována také vlivům těžby a úpravy nerostných surovin na životní prostředí a zdraví obyvatelstva. Významným úkolem je rovněž rozpracování surovinové politiky České republiky do krajských studií. Dalšími důležitými výzkumnými okruhy jsou rozvoj nových metod výzkumu ložisek nerostných surovin, montanistický výzkum a práce v zahraničí, které jsou zaměřené především na výzkum a vyhledávání surovinových zdrojů a na environmentální problematiku v rozvojových zemích. Ložiskověgeologická problematika je řešena komplexně ve spolupráci s řadou špičkových tuzemských a zahraničních geovědních organizací a výzkumných institucí. Nedílnou součástí všech výše popsanych aktivit je také průběžná výchova studentů a odborných pracovníků.



Odběr vzorků
Ge-uhlí v Lomu Jiří
na Sokolovsku.
Foto B. Kříbek.

3.2. STRATEGICKÉ CÍLE VÝZKUMU 2023–2027

Strategické cíle výzkumu:

- rozvíjí výsledky výzkumu z předchozího období,
- bezprostředně navazují na národní strategické dokumenty (Státní politika životního prostředí 2030 s výhledem do roku 2050, Strategický rámec cirkulární ekonomiky ČR, Koncepce vědy a výzkumu MŽP ČR do roku 2025, Surovinová politika ČR v oblasti nerostných surovin a jejich zdrojů),
- zohledňují strategické dokumenty Evropské surovinové iniciativy, především Critical Raw Materials Resilience: Charting a Path towards greater Security and Sustainability: Horizon 2021–2050.

Mezi zásadní strategické cíle patří zejména:

- zvýšení soběstačnosti v získávání nových zdrojů „kritických“ a „strategických“ nerostných surovin při zajištění pružného, odolného a konkurenceschopného rozvoje ekonomiky EU při respektování klimaticky neutrálních podmínek,
- zvýšení úlohy využití odpadů jako částečné náhrady primárních surovin, a to nejen kritických, ale také nerudných a stavebních,
- výzkum podporující zajištění vlastních (domácích) zdrojů nerostných surovin pro průmyslová odvětví z hlediska surovinové soběstačnosti a bezpečnosti,
- aplikace nových metod a technologií při vyhledávání a úpravě kritických kovů (například Au, Ge, W, REE, Li, In, Te a dalších) i v hlubších oblastech zemské kůry,
- rozvoj datových systémů, které umožní předvídat možný výskyt rudních těles, jejich rozsah, kovnatost a geotechnické vlastnosti.

Odběr velkoobjemového vzorku těžkých minerálů, lokalita Schweidrich na Šluknovsku. Foto P. Rambousek.



3.3. PRIORITNÍ TÉMATA VÝZKUMU 2023–2027

K zajištění strategických cílů výzkumu budou práce v ložiskových oborech seskupeny do následujících prioritních témat:

3.3.1. Kritické suroviny v národním a mezinárodním kontextu v podmínkách udržitelného rozvoje společnosti a cirkulární ekonomiky

Tato oblast výzkumu zahrnuje především studium EU-kritických surovin a národních kritických surovin, rudních a nerudních, které mají (nebo mohou mít) z hlediska trvale udržitelného rozvoje klíčový význam pro zlepšování životního prostředí a rozvoj společnosti. Výzkum je zaměřený nejen na detailní studium známých ložiskových objektů, ale také na identifikaci nových ložiskových prognóz a zdrojů a jejich ochranu. Velký důraz je rovněž kladen na ověření technologií úpravy těchto surovin, a to v souladu s principy cirkulární ekonomiky.

Plánované práce v této oblasti zahrnují zejména:

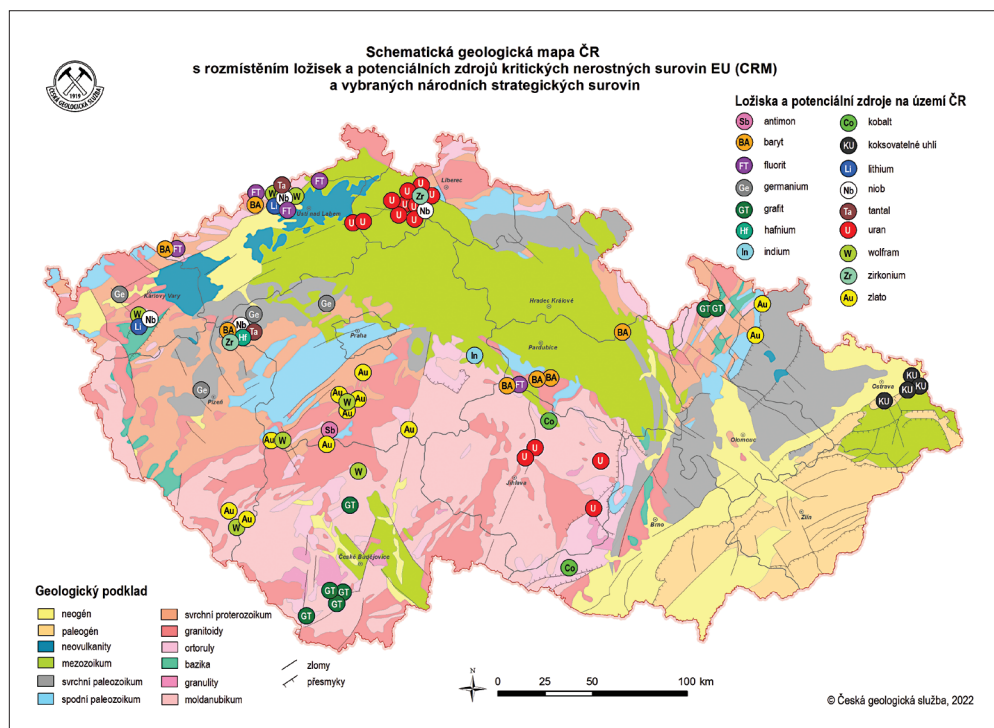
- pokračující výzkum kritických nerostných surovin v České republice v rámci projektu Horninové prostředí a nerostné suroviny (RENS), za podpory Technologické agentury ČR,
- výzkum strategických prvků v kontextu UV 866/2021,
- vybudování silné koordinační, informační a vzdělávací základny Evropské geologické služby v oblasti zdrojů nerostných surovin ve spolupráci s EuroGeoSurveys (v rámci přípravného projektu EuroGeoSurveys „Critical Raw Materials, the International Centre of Excellence and United Nations Framework Classification“),
- výzkum zaměřený na solanky a mineralizované vody jako potenciální suroviny pro získávání průmyslově využitelných strategických nerostů, prvků či solí,



<< Odběr vzorků Cu-Au (Mo) porfýrových rud na ložisku Kalmakyr (Uzbekistán). Foto J. Pašava.

Ložisko středně až nízkotermálních Au-Ag rud Kočbulak (Uzbekistán). Pohled na rudní zónu vyvinutou v andezitech a dacitech. Foto J. Pašava.

Schematická geologická mapa ČR s rozmištěním ložisek a potenciálních zdrojů kritických nerostných surovin a vybraných národních strategických surovin (sestavil J. Starý).



- výzkum perspektivních minerálních plniv a křemenných surovin v Českém masivu, jejich úpravy a využití pro moderní průmyslové aplikace,
- výzkum ložisek Ni, Cu, PGE, Co, V, Ti, Cr vázaných na ultramafické intruzivní horniny za využití nejmodernějších analytických a dalších speciálních metod,
- ověřování technologie komplexní úpravy a využití nerostných surovin (se zaměřením na moderní technologické postupy produkující minimum odpadů) a možností jejich ekoinovačního využití včetně aplikací získaných produktů v zájmových průmyslových odvětvích, zejména pro rozvoj moderních technologií.

3.3.2. Nerostné suroviny a udržitelný rozvoj regionů a dopravní infrastruktury

Výzkum v této oblasti zahrnuje zejména legislativní podporu komplexního využití nerostných surovin a jejich ochrany na základě požadavků MPO a MŽP ČR, popř. orgánů veřejné správy.

Předpokládané činnosti zahrnují:

- rozvoj koncepcí dlouhodobého územního plánování využití nerostných zdrojů pro lokální a regionální infrastrukturu,
- rozpracování státní surovinové politiky ČR na úroveň krajů: v přípravě je Aktualizace Regionální surovinové politiky pro kraje Ústecký, Zlínský a Pardubický,
- součinnost při vyhodnocování vlivů těchto krajských koncepcí na životní prostředí procesem SEA (podle zákona č. 100/2001 Sb., ve znění pozdějších předpisů),
- výzkum dostupnosti stavebních surovin pro připravované projekty rozvoje dopravní infrastruktury a plánovaných staveb regionálního významu.

3.3.3. Vliv těžby a zpracování nerostných surovin na životní prostředí

Cílem výzkumu je zhodnocení vlivu důlní činnosti na složky přírodního prostředí a zdraví obyvatelstva jako předpokladu pro přijetí účinných opatření ke snížení environmentálních a zdravotních rizik.

V rámci tohoto tématu budou řešena následující témata:

- zhodnocení rizikových vlastností důlních odpadů v České republice, zaměřené zejména na odpady po těžbě uhlí a uranu, monitorování rozsahu kontaminace půdy, řečištních sedimentů a vodních zdrojů a predikce dlouhodobých vlivů potenciálně toxických látek uvolňovaných při zpracování nerostných surovin na biotu a lidské zdraví s použitím moderních analytických metod,
- tvorba 3D modelů, které spojují informace o rozsahu poddolování (3D modely dosahu podzemních prostor) s těmi o geologické stavbě (je součástí bodu 3.3.5.).

3.3.4. Výzkum ložiskověgeologických procesů a prognózování zdrojů nerostných surovin

Tato oblast výzkumu zahrnuje rozvoj a aplikaci nových mineralogických, geochemických a geofyzikálních metod při výzkumu a predikci průzkumu ložisek nerostných surovin, rozvoj mikroanalytických metod a sestavení genetických modelů hlavních typů ložisek s použitím 3D/4D modelů a analýzy dat dálkového průzkumu Země a družicových geofyzikálních dat.

Výzkumné práce zahrnují:

- metalogenetický výzkum v České republice a v zahraničí s cílem zpřesnění metalogenetických map, možných predikcí výskytů ložiskových akumulací v hlubších patrech zemské kůry a tvorby 3D modelů (s vazbou na stávající projekty),



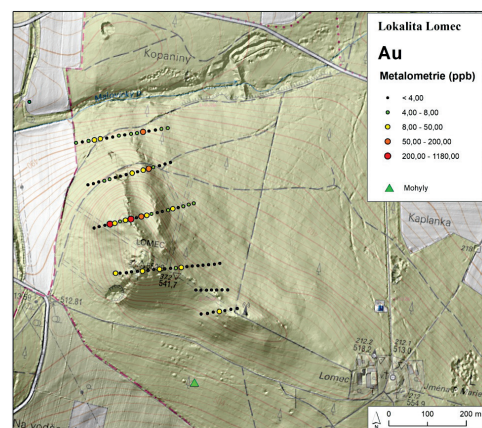
Výzkum výskytu vltavínonosných sedimentů na lokalitě Vrábče, Nová Hospoda.
Foto M. Poňavič.

- spolupráce na základním geologickém mapování ČR v měřítku 1:25 000, tvorba aplikovaných map (Nerostné suroviny) a vysvětlujících textů,
- ověření možnosti získávání vzácných zemín v odpadech po zpracování uranových rud,
- experimentální mineralogický výzkum systémů s platinovými kovy s aplikací na geometalurgii, zpracování rud a materiálové vědy.

3.3.5. Historie těžby a zpracování nerostných surovin, montanistický výzkum

Cíle výzkumu je možné rozdělit do dvou hlavních témat. Prvním z nich je montanistický výzkum, kterému se věnujeme v rámci projektu *Horninové prostředí a nerostné suroviny (RENS)*.

V rámci tohoto projektu vytváříme 3D komplexní modely na příkladech rudního ložiska Kaňk a ložiska hnědého uhlí Mariánské Radčice. Tyto modely spojují strukturněgeologický model s modelem důlních děl (tedy model vydobytých prostor) a s modelem poklesových kotlin. Extrakcí prostorových informací z těchto modelů budou na povrchu vymezena území s různým rizikem vzniku propadů. Ve vazbě na povrchový model sídel (budov, komunikací, produktovodů atd.) bude možno přímo určit ohrožené objekty. Získané informace budou použity pro územní plánování a společně s dalšími



Půdní metalometrie,
obsahy Au, lokalita
Lomec u Libějovic.
(Sestavili J. Morysek
a J. Buda).

informacemi o výskytu surovin, geologické stavbě, hydrogeologických a inženýrskogeologických poměrech území vstupují jako podklady pro urbanistickou geologii, kterou se zabýváme v rámci kapitoly 8.3.

Druhým tématem je studium historie těžby a zpracování nerostných surovin a následná ochrana antropogenních krajinných prvků a technických památek (důlních děl) jakožto součásti kulturního dědictví v hornické krajině či národních anebo globálních geoparcích UNESCO. Na základě izotopové diskriminace kovových artefaktů a známých mineralogicko-geochemických charakteristik rudních ložisek Českého masivu budou ve spolupráci s archeology modelovány předpokládané historické zdroje rud.

4/ Výzkum a hodnocení stavu podzemních vod

L. RUKAVIČKOVÁ, J. ŘIHOŠEK

Úvod

Podzemní voda je významnou složkou životního prostředí a zároveň nenahraditelným zdrojem pitné vody. V souvislosti s probíhající klimatickou změnou se v rámci ČR projevuje výrazná proměnlivost v doplňování přírodních zdrojů podzemní vody a rozdílná schopnost horninového prostředí akumulovat významnější zásoby podzemní vody, které by vyrovnaly dlouhodobé deficitní období. V některých oblastech ČR bylo v posledních letech zaznamenáno výrazné snižování zásob podzemních vod a následný nedostatek dostupných vodních zdrojů. V souvislosti s uvedenými změnami roste význam a rozsah výzkumu zaměřeného na tvorbu a ochranu zdrojů podzemních vod. Mezi hlavní řešená témata v současnosti patří:

- predikce vývoje zdrojů podzemních vod, včetně zásob podzemních vod v kontextu změny klimatu a častějšího výskytu sucha,
- možnost ovlivnění podzemních a povrchových vod Hrádecka a Frýdlantska v Libereckém kraji povrchovou těžbou uhlí na přilehlém polském území,
- problematika tvorby zásob podzemní vody v prostředí krystalických hornin,
- řízená dotace podzemních vod jako nástroj ke zvyšování zásob podzemních vod,
- podzemní vody v krasových systémech a možná rizika pro podzemní vody v krasových oblastech,
- využití hydrogeologických informací pro tvorbu informačních modelů městských aglomerací,



Vodní tlaková zkouška ve vrtu S-27 na 12. patře dolu Rožná v podzemním výzkumném pracovišti Bukov. Foto J. Holeček.

- hydrogeologické mapování v ČR i zahraničí a tvorba webových prezentací hydrogeologických map různých měřítek,
- problematika vyhledávání vhodného prostředí pro situování podzemních úložišť,
- hydrogeologické aspekty využívání geotermální energie.

4.1. STRATEGICKÉ CÍLE VÝZKUMU 2023–2027

Hydrogeologický výzkum v České geologické službě (ČGS) je motivován potřebou poznání mechanismů a zákonitostí proudění podzemních vod v hydrogeologických strukturách. Převážná část výzkumu je zaměřena na to, jak jsou přírodní zdroje podzemní vody ovlivňovány činností člověka a globální klimatickou změnou, dále také na možnosti zvyšování zásob podzemních vod a na principy udržitelnosti využívání přírodních zdrojů a návrhy jejich ochrany.

V následujících pěti letech bude hydrogeologický výzkum v ČGS dále rozvíjet již řešená výzkumná témata a naváže na dosažené výsledky. Práce budou soustředěny do tří prioritních témat (viz dále), která se při řešení komplexních projektů mohou navzájem prolínat.

4.1.1. Studium vlivu klimatické změny a dalších antropogenních zásahů na přírodní zdroje podzemních vod

V obecné rovině se výzkum zaměří na studium dotace a drenáže různých hydrogeologických struktur v kontextu probíhající klimatické změny. Tento výzkum bude zahrnovat například:

- vymezení oblastí zranitelných v suchých periodách,
- opatření vedoucí ke zvyšování zásob podzemních vod,
- hodnocení změn základního odtoku podzemních vod na území ČR.

V rámci projektu PERUN bude probíhat hodnocení stavu a vývoje přírodních zdrojů podzemních vod a predikce vývoje těchto zdrojů podle vývoje hladin podzemní vody, případně odtoku. Bude zkoumána citlivost vybraných přírodních systémů na období sucha a změny klimatu v ČR. Pro vybrané oblasti s vodohospodářsky významnými akumulacemi podzemních vod budou zpracovány komplexní matematické modely proudění podzemních vod, včetně výpočtů potenciálního objemu akumulované vody.

Pozornost bude věnována také ochraně přírodních léčivých zdrojů minerálních vod, a to jak v obecné rovině, tak na konkrétních problematických lokalitách. Bude pokračovat tvorba metodiky pro hodnocení účinnosti aktuálně vymezených ochranných pásem přírodních léčivých zdrojů minerálních vod z hlediska jejich geologické stavby. Metodika byla navržena na základě provedených průzkumných prací na pilotních lokalitách Lázně Skalka a Lázně Slatinice a bude následně testována a modifikována pro jiné typy struktur minerálních vod. V souvislosti s aktualizací poznatků o geologické stavbě jednotlivých struktur minerálních vod bude probíhat i revize dosavadních koncepcí vzniku a výstupu minerálních vod.

Hydrogeologický výzkum bude dále zaměřen na stanovení dopadů lidské činnosti a klimatické změny na krasové hydrogeologické struktury a jejich infiltrační oblasti. Bude řešena problematika potenciálně ohrožených zdrojů vod vázaných na vápencové struktury čtyř vybraných krasových oblastí ČR (Moravský kras, Hranický kras, Javoříčsko-mladečský kras a Chýnovský kras). Cílem je přispět k ocenění a zejména k ochraně těchto zdrojů na základě návrhu nových metodických postupů (Projekt RENS za podpory TAČR).

V příhraniční oblasti Hrádecka i Frýdlantska v Libereckém kraji bude dále pokračovat monitoring stavu podzemní a povrchové vody. Zahlubování polského dolu Turów zde dlouhodobě ovlivňuje přirozené hydrogeologické poměry a zdroje podzemní vody, zejména v hlubších terciérních kolektorech, ale i v mělkých kolektorech, které jsou zdrojem vody pro zásobování



obyvatel pitnou vodou. Výsledky výzkumu budou využívány jako podklady pro jednání vlády ČR s představiteli Polska o dodržování uzavřené dvoustranné dohody týkající se eliminačních opatření omezujících zvýšený odtok podzemní vody do dolu.

Pozornost bude také zaměřena na rozvoj metod tvorby geologických informačních 3D a 4D modelů zahrnujících hydrogeologické informace daného území. Pro území města je takový model označován jako GeoCIM. Takové modely již dnes nacházejí uplatnění při územním plánování měst, kde slouží jako podklad při plánování výstavby. Dále modely řeší střety zájmů, například geologické překážky a geoekologické problémy vyvolané špatně naplánovaným zásahem do podzemí.

Odběr vzorků vody
a terénní měření
fyzikálně-chemických
parametrů v Rudickém
propadání v Moravském
krasu. Foto R. Hadacz.

4.1.2. Studium procesů tvorby zásob podzemních vod v různých hydrogeologických strukturách

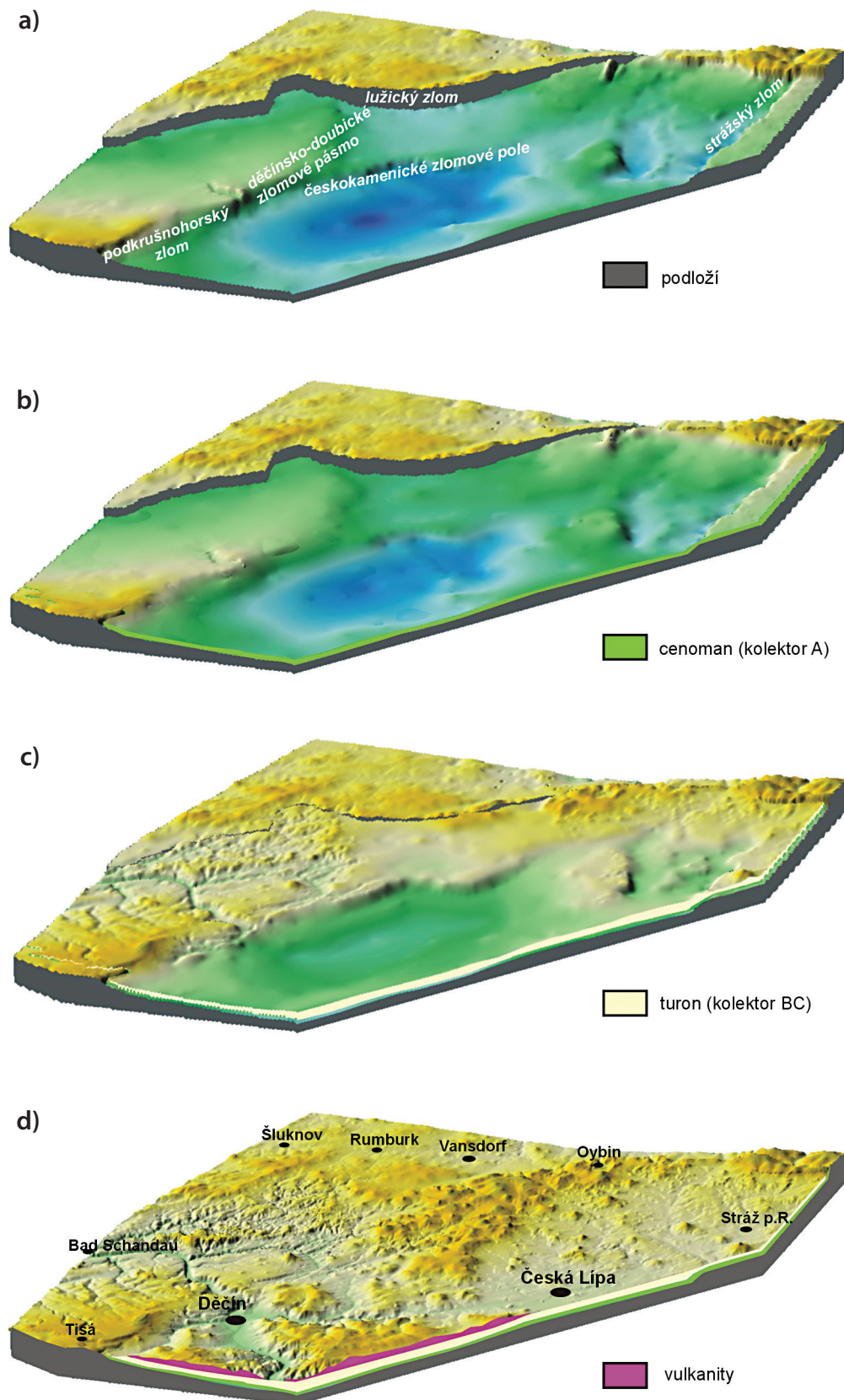
Bude řešena problematika tvorby přírodních zdrojů podzemní vody v prostředí krystalinických hornin. Studium se zaměří na tři vybrané hydrogeologické rajony tvořené převážně metamorfovanými a magmatickými horninami. Cílem výzkumu bude vytipování vhodných lokalit pro výstavbu nových zdrojů podzemních vod, definování oblastí nejvíce postižených hydrogeologickým suchem, získání podkladů pro zlepšení zadržování vody v krajině a zpracování metodiky pro hodnocení zásob podzemní vody v prostředí krystalických hornin.

Specialisté z řad ČGS se budou věnovat tvorbě hydrogeologických map, a to jak v rámci České republiky, tak i v zahraničí. Pro hydrogeologické mapy vybraných území budou zpracovány veškeré dostupné informace o tvorbě, akumulaci, režimu a kvalitě podzemních vod a jejich vazbě na horninové prostředí. Hydrogeologické mapy jsou základním podkladem pro odbornou veřejnost a státní správu při hodnocení vhodného využívání a definování potřebné ochrany podzemních vod. Mapy budou zpřístupňovány veřejnosti prostřednictvím nově vyvíjených webových prezentací.

Důraz bude také kladen na výzkum možností rozšíření využití hydrologických metod a dálkového průzkumu Země (např. multispektrální analýzy) pro vyhledávání a hodnocení zdrojů podzemních vod.

V rámci publikačních aktivit budou dále zpracovány výsledky již ukončeného projektu „Rebalance podzemních vod“. Formou odborných knih a článků budou publikovány výsledky řešených regionálních hydrogeologických projektů.

3D koncepční
geologický model
kolektorů ve východní
části česko-saského
pohraničí. Autor
Z. Skácelová.



4.1.3. Hydrogeologické aspekty výstavby hlubinných úložišť a využívání geotermální energie

Podzemní voda je hlavním nosným médiem při úniku látek z podzemních úložných prostor. Hydrogeologické poměry v okolí hlubinných úložišť hrají zásadní roli při hodnocení bezpečnosti ukládání. Hydrogeologický výzkum bude probíhat v rámci řady experimentálních projektů v podzemním výzkumném pracovišti Bukov v dole Rožná a v Podzemní laboratoři Josef na Mokrsku. Jedná se například o výzkum interakce podzemních vod s modelem, který simuluje úložnou jednotku s bentonitovým těsněním, studium puklinové konektivity v hloubkách odpovídajících hlubinnému úložišti a hydrogeologický výzkum a monitoring při ražbě nové podzemní laboratoře. Odborníci z ČGS se také zapojí do hydrogeologických výzkumů a průzkumů na čtyřech vybraných lokalitách perspektivních pro umístění hlubinného úložiště radioaktivních odpadů v ČR.

Hydrogeologický výzkum je nezbytnou a nedílnou součástí aplikovaného výzkumu využívání geoenergií (viz následující kapitola). Podzemní voda je v horninovém prostředí teplotně nosným médiem, které je v případě tepelných úložišť nezbytné pro přenos tepla z horninového prostředí nebo naopak do něj. V letech 2023 až 2029 bude řešen rozsáhlý projekt Synergys. V rámci tohoto projektu bude probíhat komplexní hydrogeologický výzkum, jehož výsledky budou sloužit jako podklady pro koncepci a následný efektivní provoz tepelného horninového úložiště. Dalším významným tématem bude výzkum hydraulických poměrů v hlubokém horninovém prostředí (v hloubce okolo 2 km) pro účely tvorby a hydraulické stimulace tepelného výměníku pro geotermální systém HDR (hot dry rock).

5/ Výzkum geoenergií

V. HLADÍK†, J. HOLEČEK

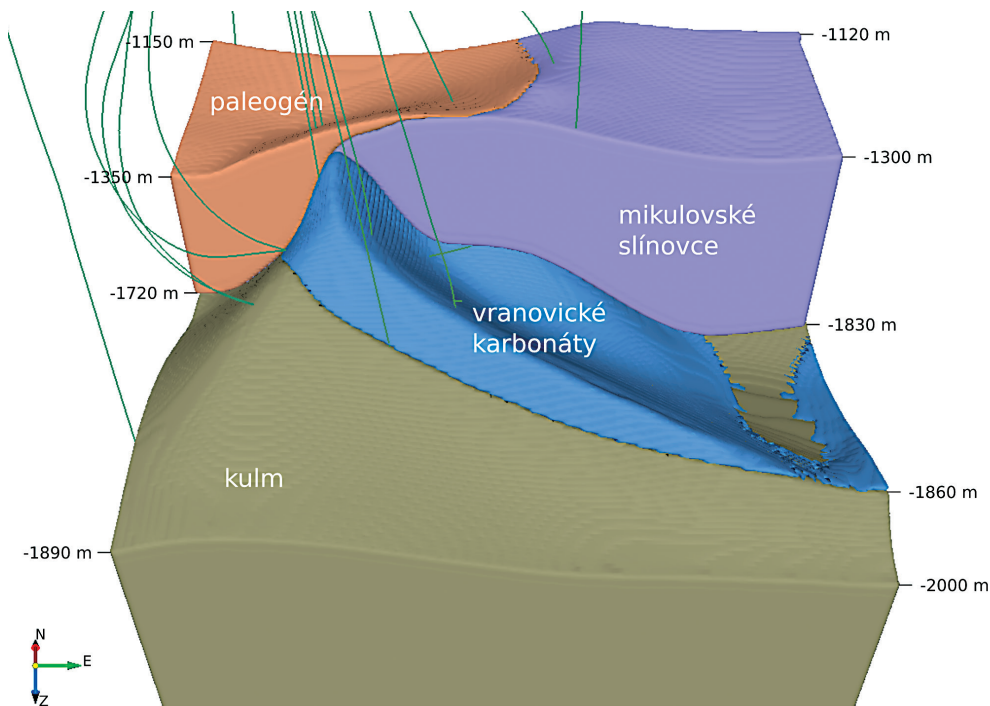
5.1. SOUČASNÝ STAV VÝZKUMU GEOENERGIÍ V ČGS

Výzkum v oblasti geoenergetických technologií v ČGS je veden potřebou reagovat na nové lokální i globální výzvy naší doby. Problematika změny klimatu, omezování emisí skleníkových plynů, zajištění energetické bezpečnosti a přechod k nízkouhlíkové ekonomice přináší nová témata výzkumu a vývoje, spojená s novými pohledy na využití geologického prostředí. V posledních letech se pracovníci ČGS podíleli na řešení celé řady národních i mezinárodních projektů s tímto zaměřením. Pozornost je věnována zejména problematice skladování energie v horninovém prostředí, výzkumu geotermální energie a ukládání oxidu uhličitého do horninového prostředí. Řada výzkumných projektů je realizována v rámci mezinárodní spolupráce, která má silnou oporu ve členství ČGS v mezinárodních výměnných výzkumných sítích.

5.2. STRATEGICKÉ CÍLE VÝZKUMU 2023–2027

V období 2023–2027 bude ČGS pokračovat v rozvoji výzkumných témat, která byla rozpracována ve Strategickém plánu výzkumu ČGS na léta 2016–2020, DKRVO 2018–2022 a naváže

3D model geologické stavby v oblasti připravovaného úložiště oxidu uhličitého Zar-3. Úložná struktura = svrchní část polohy vranovických karbonátů.





na již dosažené výsledky v této oblasti. Hlavní výzkumná témata vycházejí zejména z Národních priorit orientovaného výzkumu, experimentálního vývoje a inovací a ze Strategického energetického technologického plánu EU, zejména těch jeho částí, které mají souvislost s geologickým prostředím. Lze je rozdělit do tří hlavních skupin:

5.2.1. Geologické ukládání CO₂

Dlouhodobým strategickým cílem v této oblasti je realizace výzkumného pilotního projektu ukládání oxidu uhličitého do vhodné geologické struktury na území ČR. Na cestě k tomuto cíli se v období 2023–2027 plánuje uskutečnění těchto postupných kroků:

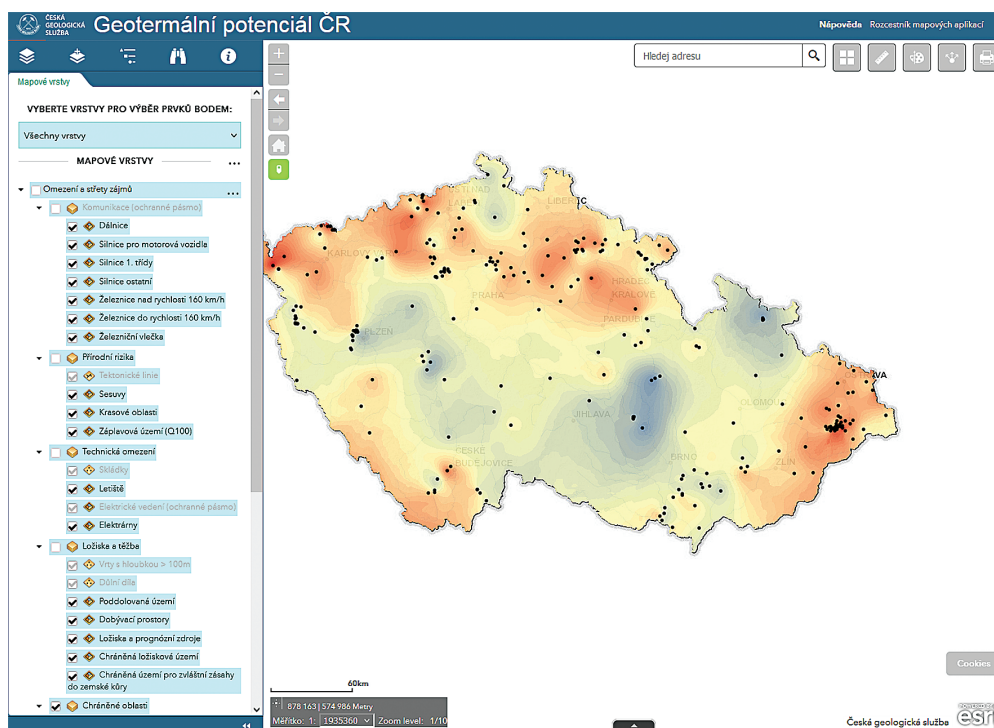
- dokončení velkého česko-norského projektu CO₂-SPICER (Pilotní projekt ukládání CO₂ v karbonátovém ložisku), spolufinancovaného z Norských fondů,
- výzkumná podpora aktivit směřujících k využití úložného potenciálu geologických struktur na území ČR a ověřování nových úložišť, včetně přenosu poznatků a zkušeností z již realizovaných a připravovaných projektů v zahraničí v rámci členství ČGS v mezinárodní asociaci CO₂GeoNet,
- spolupráce s průmyslovými partnery na přípravě a realizaci prvních pilotních a demonstračních projektů CCS v ČR.

5.2.2. Geotermální energie

Výzkum v této oblasti bude převážně zaměřen na rozvoj metodiky, strategii a výzkumnou podporu využití geotermální energie, a to jak v mělkých, tak i v hlubokých vrstvách geosféry. Hlavní pozornost bude soustředěna na:

- aktivity v rámci výzkumné infrastruktury RINGEN, zaměřující se na využití hlubinné geotermální energie v oblasti Litoměřic a realizace projektu SYNERGYS (Systémy pro energie-

Nově vyvinutá veřejně dostupná mapová aplikace geotermálního potenciálu ČR, dostupná na adrese cgs.gov.cz/teplotazeme.



tickou synergií). Ten se zaměřuje na unikátní způsob kombinovaného jímání a ukládání energie z horninového prostředí z malých a středních (cca 100–500 m), ale i velkých (cca 2,5–3,5 km) hloubek, v kombinaci s fotovoltaickými zdroji a výrobou zeleného vodíku jako systémového integrátoru v energetice,

- výzkum geotermálního potenciálu perspektivních oblastí ČR s cílem podpořit přípravu a realizaci nových projektů využití geotermální energie ve spolupráci se státní správou, samosprávami a průmyslovými partnery.

5.2.3. Skladování energie v horninovém prostředí

V rámci tohoto tématu je hlavním cílem rozvoj a zdokonalování metodiky skladování energie a mapování potenciálu geologických úložišť energie v ČR, ale i v Evropě. Pozornost bude zaměřena na výzkum různých forem skladování tepelné energie (vrty, akvifery, stará důlní díla), skladování vodíku jako energetického média budoucnosti, a to v porézních horninách a kavernách, ale i na nové, netradiční technologie, které využívají např. stlačený vzduch nebo kinetickou energii. V této oblasti výzkumu se předpokládá intenzivní mezinárodní spolupráce, využívající zejména členství ČGS v evropské výzkumné síti ENERG.

Řešení všech částí prioritního tématu „Výzkum geoenergií“ bude probíhat v úzké spolupráci s dalšími výzkumnými pracovišti v ČR a v zahraničí, ale také v kooperaci s inovačními firmami ze soukromého sektoru a s orgány státní správy. Prioritou je podpora budoucího průmyslového využití zkoumaných technologií v praxi. Vybrané výsledky budou publikovány v mezinárodních i domácích odborných periodikách a prezentovány na národních a mezinárodních konferencích a workshopech.

6/ Inženýrská geologie a geologická rizika

M. AUE, O. KREJČÍ, I. BARNET

Strategické cíle výzkumu na období let 2023–2027 navazují na výsledky předchozího pěti-letého období a vycházejí z aktualizace Koncepce výzkumu a vývoje Ministerstva životního prostředí na léta 2016 až 2025 s výhledem do roku 2030, konkrétně dílčího cíle 2.1.4: Studium geofaktorů životního prostředí s cílem prevence a mitigace dopadů globální změny. Dále vycházejí z priorit orientovaného výzkumu, experimentálního vývoje a inovací ČR a ze strategických dokumentů Ministerstva životního prostředí. Ty v případě povodňových a dalších krizových situací vyžadují rychlé vyhodnocení situace, včetně prezentace zjištěných výsledků v rámci webových aplikací pro veřejnost.

Důležitou součástí aktivit v oblasti geofaktorů životního prostředí je jejich intenzivní výzkum, dokumentace, včetně kategorizace rizik geohazardů v regionálním i lokálním měřítku, a tvorba portálu geohazardů pro odbornou i laickou veřejnost, včetně řešení problematiky negativních antropogenních vlivů na kvalitu složek životního prostředí. Nedílnou součástí je pravidelný monitoring nejnebezpečnějších svahových deformací a dalších rizikových geofaktorů. Mezi současné společensky nejvýznamnější aktivity ČGS patří rovněž posuzování geologických rizik spjatých s budováním a provozováním páteřních silničních a železničních infrastruktur a bezpečnosti obyvatelstva, včetně radonového rizika. Zcela zásadní je pak aplikovaný geologický výzkum v oblasti přípravy strategických staveb.

Svahové deformace, které vznikly následkem svahových pohybů, mohou bezprostředně ohrozit obecný zájem. Jedná se zejména o život a zdraví osob, jejich majetek, stávající nebo připravované investice do kritické infrastruktury – produktovody (ropovody, plynovody) nebo do dopravní infrastruktury (železnice, silnice) apod. Radonové riziko geologického podloží pak přímo ovlivňuje radiační expozici obyvatelstva. Význam řešení problematiky výskytu radonu v geologickém podloží spočívá mimo jiné i v interdisciplinární návaznosti na sledování koncentrací radonu v pitné vodě a ve stavebních materiálech. Výzkum v oblasti přípravy strategických staveb naproti tomu umožňuje jejich efektivnější, a tedy ekonomicky výhodnější plánování především ve vztahu ke geologické stavbě území, potažmo k existenci rozličných geohazardů. Podrobněji jsou výše zmíněná témata popsána v následujících podkapitolách.

Výsledky výzkumu jsou využívány orgány státní správy a samosprávy a Státním fondem životního prostředí pro potřeby hodnocení žádostí o dotace z evropských fondů z operačního programu Životní prostředí 2021–2027 v souladu s platnými programovými dokumenty. Data jsou dále využívána pro potřeby různých státních organizací za účelem hospodářského rozvoje státu (ŘSD, SŽ, SURAO, ČEPS atd.).

6.1. SVAHOVÉ DEFORMACE

Problematika vzniku a vývoje svahových pohybů je určována složitou interakcí mezi extrémními klimatickými situacemi, geologickou stavbou území, geomorfologií terénu i lidskou



Sesuv půdy, ke kterému došlo v pražských Vršovcích v noci ze 13. na 14. února 2023.

činností. V místních podmínkách většinou bývají spouštěcím mechanismem extrémní srážkové situace, intenzivní tání sněhové pokrývky, důlní činnost a nevhodné zakládání staveb. Sesuvné jevy se na území České republiky vyskytují především v několika geologických jednotkách. V Českém masivu se jedná o sedimenty permokarbonu, české křídové pánve a třetihorní vulkanity Českého středohoří. V sedimentech flyšového pásma Západních Karpat se sesuvné jevy vyskytují také velmi často. Intenzivní výzkum těchto formací probíhá od července 1997, kdy extrémní srážky aktivovaly mnoho set sesuvů s následnými značnými materiálními škodami.

Od roku 1997 můžeme pozorovat zkrocování intervalů mezi jednotlivými povodňovými událostmi; byly dokumentovány sesuvné kalamity v letech 2002, 2006, 2009, 2010, 2011, 2013 a 2014. Klíčovou otázkou je definice délky doby mezi vysokými srážkovými úhrny a vznikem série mělkých sesuvů v konkrétní oblasti. Rozbor vlivu klimatu na zvýšený výskyt svahových deformací v České republice v období 1997 až do dnešní doby je proto důležitou součástí výzkumu geologických rizik (viz např. Rybář a kol., 2014).

Výzkum geohazardů vychází z historických poznatků z archeologických lokalit, geochronologického datování a dobových kronik. Bezprostředně navazuje na již hotové digitální geologické mapy a jejich tematické vrstvy v měřítku 1 : 25 000. Z metodického hlediska jsou v hojné míře využívány také moderní metody DPZ, jako např. analýza digitálního modelu reliéfu České republiky 5. generace (DMR 5G), který vznikl z dat pořízených metodou leteckého laserového skenování výškopisu (LiDAR) území České republiky v letech 2009 až 2021. Rovněž jsou využívána satelitní radarová data SBAS-DInSAR.

Mimořádný důraz při výzkumu svahových deformací je kladen na rozvoj a implementaci geofyzikálních metod. Je to proto, že v posledních letech lze zaznamenat stoupající požadavky na podklady o sesuvech, které ohrožují konkrétní stavby či soubory staveb. Pro tento účel bude třeba také zpracovat tematické katalogy svahových deformací s vymezením nejvíce ohrožených lokalit či úseků.

V neposlední řadě je potřeba rozvíjet výzkum v oblasti mechaniky zemin a nastavení správných laboratorních postupů, od nichž se pak rozvíjejí korelační rovnice. Ty mohou být velmi efektivním nástrojem při zjišťování základních pevnostních parametrů zemin, důležitých pro další stabilitní výpočty souvisejících s výzkumem rizikovosti svahových deformací

Intenzivní výzkum z hlediska nápravy škod způsobených sesouváním a skalním řícením probíhá také v oblasti podpory územního plánování, a to především z pohledu novelizace příslušné legislativy. Cílem výzkumu je přispět ke zvýšení kvality české legislativy v oblasti geohazardů a k její implementaci na úroveň krajů. Jedná se především o metodiku stanovení kategorie nebezpečnosti jednotlivých sesuvů. Výzkumné práce budou dále zahrnovat inovace metod monitoringu svažitých terénů a inovaci metodiky stanovení varovných stavů a budování varovných systémů na příkladu pilotních lokalit.

Z výše uvedeného jednoznačně vyplývá, že inženýrskogeologický výzkum patří mezi stěžejní obory studia geohazardů, protože zjišťuje a řeší působení horninového prostředí (především sesuvů) na stavby.

6.2. RADONOVÉ RIZIKO GEOLOGICKÉHO PODLOŽÍ

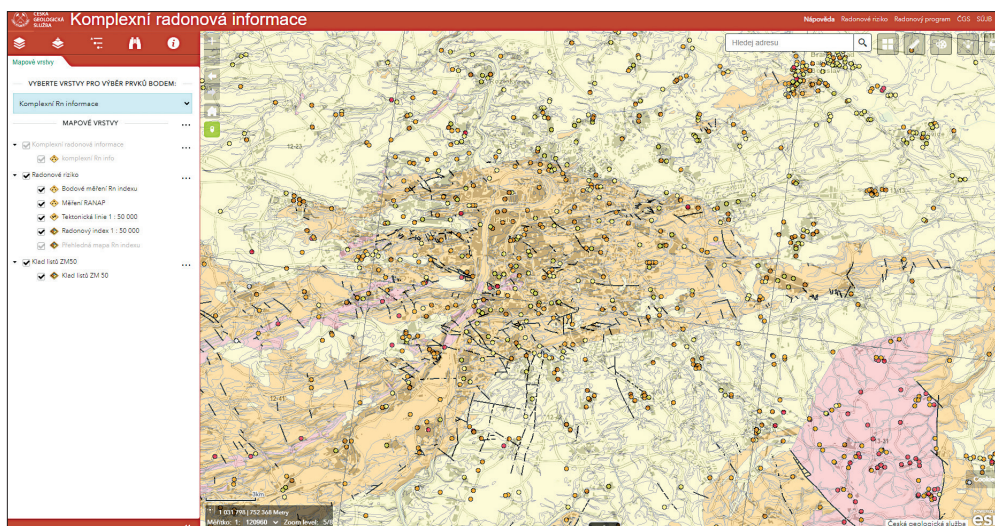
Geologické podloží České republiky je z více než ze dvou třetin tvořeno metamorfovanými a magmatickými horninami s vyššími koncentracemi uranu a následně i radonu. Z toho vyplývá, že radonu, který pochází z geologického podloží a odtud proniká do objektů, je nutno věnovat zvýšenou pozornost. Kromě uranu (U) se na ozáření z přírodních zdrojů podílí i draslík (K) a thorium (Th).

Radonové riziko geologického podloží patří mezi významná geologická rizika s přímým dopadem na zdraví obyvatel. Radioaktivní přeměnou radonu vznikají dceřiné izotopy kovové povahy, které se usazují na plicní výstelce a vnitřním ozářením mohou způsobit zvýšenou frekvenci výskytu rakoviny plic. Úkolem ČGS je vyhledávat horninové typy se zvýšenou koncentrací radonu, který může pronikat do stavebních objektů na nich postavených a tam negativně ovlivňovat zdraví obyvatel při dlouhodobé expozici.

Problematika radonu na území České republiky je dlouhodobě sledována a koordinována Státním úřadem pro jadernou bezpečnost v rámci Radonového národního akčního plánu (RANAP). Výzkum radonového rizika geologického podloží je multidisciplinární preventivní problematikou, zasahující do oblastí jako radon v pitné vodě nebo ve stavebních materiálech. Geologické podloží je tak primárním zdrojem radonu v objektech.

Výzkum radonového rizika geologického podloží je dlouhodobým projektem, realizovaným MŽP prostřednictvím ČGS v rámci Radonového národního akčního plánu (RANAP) pro období 2020–2029. Ministerstvo životního prostředí je tak jedním z resortů, které se na realizaci RANAPu podílejí ve smyslu kapitoly RANAP č. 4 – Plnění dlouhodobých cílů (úkol RANAP realizovaný v resortu MŽP od roku 2020, bod 4.1.8. – Příprava a aktualizace map). RANAP navazuje na předchozí usnesení vlády ČR č. 594/2009 a na jeho bod II, „Radonový program České republiky na léta 2010 až 2019 – Akční plán“. Obsah výzkumných prací je v souladu s cíli Státní politiky životního prostředí 2012–2020, kap. 4. Bezpečné prostředí, oddíl 4.1. Předcházení rizik.

Výzkumné práce v období 2023–2027 budou zaměřeny na sledování koncentrace radonu a hodnot dávkového příkonu v lokálních litologických typech hornin, s předpokládanou zvýšenou hodnotou těchto veličin. Výskyt těchto hornin může být podmíněn strukturními podmínkami i kontakty hornin s výrazně rozdílnou kategorií radonového rizika. Výsledky výzkumu budou sloužit jako podklad pro aktualizaci map a v případě potvrzení zvýšeného radonového rizika zveřejněny v aplikaci Komplexní radonová informace na mapovém serveru ČGS. Hodno-



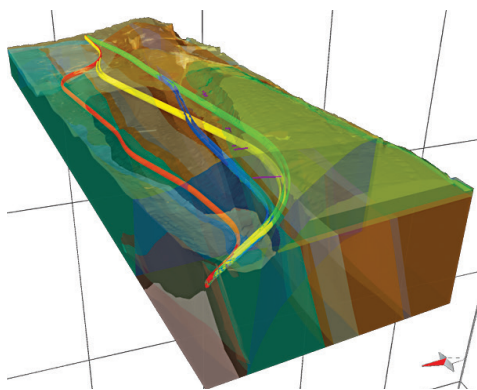
Mapová aplikace ČGS
„Komplexní radonová
informace pro
administrativní
jednotky“.

cení přírodní radioaktivity jako jednoho z rizikových geologických faktorů tak přispěje k prevenci zdraví obyvatelstva a zlepšení veřejné informovanosti o radonové problematice.

6.3. VÝZKUM V OBLASTI PŘÍPRAVY STRATEGICKÝCH STAVEB

Jedním z klíčových úkolů státu je dostavba chybějící dopravní infrastruktury, resp. obecně podpora strategických staveb národního významu. Bezpečná a funkční dopravní spojení a výstavba kritické infrastruktury jsou jednou ze základních podmínek dalšího rozvoje naší země a jejích regionů.

Projektování a výstavba každé stavby musí probíhat ruku v ruce s pochopením historicko-geologického vývoje území se všemi jeho procesy, které vedly k současnému stavu dotčeného horninového prostředí. Je to z důvodů odhadu předpokládaných interakcí daného inženýrského díla s horninovým prostředím v konkrétních inženýrskogeologických poměrech, se zohledněním případných nejistot. Výzkumné práce ČGS v oblasti přípravy strategických staveb jsou proto zaměřeny na identifikaci geotechnických, geologických a hydrogeologických bezpečnostních rizik a optimalizaci návrhů inženýrskogeologických průzkumů pro připravované stavby národního významu.



Zprůhledněný geologický model se zakreslením průběhu jednotlivých variant nového železničního propojení mezi stanicemi Praha-Dejvice a Praha-Veštlavín. Pohled směrem od severozápadu.

Cílem výzkumu je identifikovat hlavní geologické faktory s možným negativním vlivem na výstavbu strategických staveb, které by měly být posléze zohledněny projekty podrobného inženýrskogeologického průzkumu. Všechny tyto informace budou systematicky analyzovány za účelem porozumění charakteristickým rysům horninového prostředí v interakci se stavbou a jejím okolím. Jedná se především o pochopení inženýrskogeologických a hydrogeologických poměrů a povrchových a podpovrchových procesů, včetně v nich působících antropogenních procesů, s možným impaktem pro výstavbu strategických staveb. Zkoumán bude jejich vzájemný vztah a prostorová distribuce.

Hlavními výstupy výzkumu budou 3D vizualizace inženýrskogeologických modelů, včetně jejich popisů, které kromě optimalizace návrhů terénních inženýrskogeologických průzkumů pro připravované stavby národního významu umožní také optimální návrh technologie výstavby staveb samotných.

Přínos této výzkumné činnosti má zejména ekonomický dopad. Efektivnější, a tedy i levnější plánování návazných geologicko-průzkumných prací, kdy cíleným zaměřením se na oblasti s nižší vypovídací schopností stávajících observačních dat z předchozích etap průzkumů mohou být ušetřeny nemalé finanční prostředky. Další finanční úspory lze očekávat během realizace samotných staveb, protože komplexní interpretace výsledků z rozdílného spektra vstupních dat umožní minimalizovat riziko prodražení a zdržení staveb z důvodu havárií při jejich výstavbě zapříčiněných nepříznivými geologickými podmínkami či minimalizaci bezpečnostních rizik.

Lze očekávat, že výstupy výzkumů budou mít také přímý společenský dopad, protože v mnoha ohledech budou sloužit jako základní materiál pro projednání projektů klíčových strategických staveb s veřejností. Vzhledem k tomu, že v řadě případů půjde o náročná inženýrská díla, budou zcela jistě vyvolávat řadu obav a pochybností mezi dotčenými obyvateli. Z toho důvodu bude kladen maximální důraz na objektivitu, nestrannost a srozumitelnost výzkumu, aby veřejnost měla k dispozici pokud možno úplné informace o dané problematice.

7/ Biogeochemie krajiny v době klimatické změny

M. NOVÁK, J. HRUŠKA, F. OULEHLE, J. FRANČŮ

Klimatická změna, jejíž projevy jsou neustále patrnější (zvyšování teplot, snižování dostupnosti vody v ekosystémech, prodlužování vegetačního období, vlny sucha či naopak intenzivních srážek), významně ovlivňuje i biogeochemické procesy. Klimatická změna se kombinuje s přetrvávajícím dědictvím vysoké atmosférické depozice síry a dnes hlavně dusíku. Eutrofizace (nadbytek živin, zejména dusíku) vede ve spojení se změnou klimatu k dalšímu poškozování citlivých ekosystémů, například rašelinišť, horských lesů a přirozených bezlesí. Dlouhodobě monitorovaná malá povodí GEOMON poskytují unikátní možnost studovat právě kombinaci vlivu klimatické změny a změn v biogeochemických proměnných, jakými jsou pokles depozice či kataklyzmata, jako byla v uplynulých letech kůrovcová gradace, jež dramaticky změnila charakter krajiny.



Instalace gravitačních lyzimetrů k odběrům půdní vody ve Slavkovském lese.
Foto L. Bohdálková.

Vzorkování horizontální depozice v zimním období pomocí speciálních odběráků, Bukovec, Jizerské hory. Foto E. Přechová.



7.1. KOLOBĚH UHLÍKU A VYBRANÝCH PRVKŮ V EKOSYSTÉMECH POD VLIVEM ENVIRONMENTÁLNÍCH ZMĚN

V letech 2023–2027 budeme pokračovat ve studiu toků uhlíku (C) mezi jeho hlavními rezervoáry v hydrosféře, atmosféře a biosféře. Naše výsledky z minulých let ukázaly, že rostoucí export C z terestrických ekosystémů ve formě jeho rozpuštěné organické formy (DOC) byl dán poklesem kyselé depozice. Její pokles vedl k lepší rozpustnosti huminových kyselin a fulvokyselin. Dnes se tento efekt již nezvyšuje – větší vliv na změny DOC mají klimatické extrémny. Bylo také prokázáno, že v oblastech s historicky vysokou kyselou depozicí stále přetrvává vyšší akumulace uhlíku v půdách, protože rozklad organické hmoty byl vysokou kyselostí půd zpomalován. Ze studia celkových toků dusíku a změn v jeho izotopovém složení ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$) v malých povodích GEOMON vyplynulo, že více než třetina atmosféricky deponovaného dusíku je denitrifikována zpět do atmosféry. Také byly nově vypočteny kritické zátěže nutričního dusíku pro jednotlivé ekosystémy a konstatována vysoká míra překročení doporučených limitů zejména v horských oblastech. Všechna tato témata budeme rozvíjet i v období 2023–2027.

Hlavními tématy environmentálního výzkumu v následujícím období budou:

- stechiometrie rezervoárů C, N, P, S, Ca a Mg v ekosystémech,
- provázanost jednotlivých biogeochemických cyklů živin a stopových prvků,
- hydrologická bilance lesních povodí,
- interpretace dlouhých časových řad hydrochemických pozorování společně s dynamickými změnami mikrobiologických parametrů v lesních ekosystémech,
- zdroje rozpuštěného organického uhlíku ve vodách,
- eutrofizace krajiny,
- analýza vývoje lesa ponechaného bez zásahů jako indikátoru vlivu globálních změn na funkci ekosystémů,
- mikrobiologická podmíněnost biogeochemických procesů v půdě,
- biogeochemické experimenty na výzkumných plochách,

- zhodnocení časových a prostorových změn v industriálním znečištění,
- holistické studie propojující metody dálkového průzkumu Země s ekologií vybraných rostlinných společenstev.

Pro řešení těchto výzkumných okruhů budeme používat následující nástroje:

- klasické chemické analýzy (vody, horniny, půdy, biomasa),
- dlouhodobý monitoring kritické zóny malých povodí monitorovací sítě GEOMON zahrnující
 - hydrologii,
 - chemismus vod, půd a vegetace,
 - inventarizaci biomasy, měření velikosti rezervoárů živin a toxických prvků v půdách,
 - biodiverzitu rostlin a vodních organismů,
- *in situ* a *ex situ* experimenty zkoumající vliv sucha a přísad živin na funkci ekosystému a rychlost zvětvávání,
- geochemické archivy (jezerní sedimenty, mokřady, letokruhy),
- měření emisí skleníkových plynů (CO_2 , CH_4 , N_2O),
- extrapolace výsledků laboratorních experimentů na výzkumné plochy a krajinné celky (C, N, P).



Odběr námraz na vrcholu Velkého Polomu v Beskydech. Foto E. Přechová.



Rašelíník (*Sphagnum magellanicum* Brid.) ze Žďarecké slati při laboratorních inkubacích za užití izotopu dusíku ^{15}N jako značkovače. Foto I. Jačková.



Odběr vzorků serpentinizovaných peridotitů pro izotopovou studii chromu, Bernartice. Foto M. Štěpánová.

Plešné jezero a jeho povodí na Šumavě je dlouhodobě monitorováno za účelem popisu a modelování biogeochemických změn v lesích ponechaných samovolnému vývoji.
Foto J. Hruška.



Kopání půdní sondy ke kvantifikaci zásob živin, Birkenes, Norsko.
Foto J. Hruška.



Společně s těžkými kovy (HM) budou sledovány rovněž perzistentní organické polutanty (POPs) v půdách, jezerních sedimentech a polétavém prachu. POPs vznikají jako nežádoucí zplodiny nedokonalého spalování, průmyslové výroby, dopravy a čím dál více i používáním chemikálií v zemědělství. Pomocí molekulárního a izotopového složení budou sledovány osudy a míra akumulace těchto těžce odbourávaných složek našeho životního prostředí.

K prioritním otázkám řešeným v letech 2023–2027 budou patřit:

- integrace geochemie anorganických a organických polutantů v kontextu využívání krajinných celků a intravilánů,
- analýza faktorů podmiňujících genetické typy a kvantitu POPs a HM v životním prostředí,
- studium vlivu složení geologického podloží, např. černých břidlic, na přírodní pozadí geochemických indikátorů znečištění ve specifických krajinných celcích.

7.2. MODELOVÁNÍ BIOGEOCHEMICKÝCH PROCESŮ V KRAJINĚ

Společně se zahraničními výzkumnými institucemi budeme pracovat na vývoji integrované hydrologicko-biogeochemické modelovací platformy MOBIUS, která umožní zahrnutí změn v uhlíkovém a dusíkovém cyklu půda–voda–vegetace, podmíněných klimatickou změnou. Ta ovlivňuje následné procesy regulující toky a zadržování uhlíku a dusíku v lesních povodích. Model bude jak časový, tak plošný. Mimo cyklu uhlíku a dusíku bude zahrnovat i predikci vývoje ostatních biogeochemicky relevantních prvků a živin, jako jsou bazické kationty a hliník. Model bude testován na dlouhodobých řadách chemismu depozice, půd a vod z povodí sítě GEOMON. Nástroje jsou podobné jako v kapitole 7.1., doplněné o modelovací platformu MOBIUS.



Instalace srážkových odběráků v Beskydech.
Foto J. Čuřík.

7.3. IZOTOPY JAKO DIAGNOSTICKÝ NÁSTROJ V BIOGEOCHEMII

Tradiční i netradiční izotopové systémy budou užívány dvojím způsobem: (i) k určení zdrojů živin a toxických prvků v ekosystémech a (ii) k identifikaci procesů v jednotlivých složkách životního prostředí. Poměry četnosti stabilních a radiogenních izotopů lze využít k identifikaci zdrojů chemických prvků a sloučenin v případě, že se tyto zdroje liší svým izotopovým složením a nedochází k izotopovým frakcionacím. Izotopy lze užít k identifikaci environmentálních či geologických procesů v případě, že jsou tyto procesy spojeny s diagnostickou, tedy jedinečnou, izotopovou frakcionací. Izotopová data lze rovněž použít k nalezení dosud neznámých zdrojů a propadů skleníkových plynů (CO_2 , CH_4 , N_2O) na zemském povrchu.

Studium stabilních izotopů bude v období 2023–2027 zaměřeno na:

- biogeochemické cykly lehkých prvků (H, C, N, O, S), těžkých prvků (Pb, Sr) a užití netradičních izotopových systémů (Zn, Cu, Cd, Cr) jako přirozených značkovacích v exosféře; bude rovněž užíván izotopový systém Mg v lesních ekosystémech,
- širokou škálu aplikací v (bio)geochemii, biochemii, forenzní vědě, archeologii, testování biotechnologií a studium přírodních zdrojů energie.



Na malých povodích síť GEOMON probíhá, vedle dlouhodobého monitoringu, i experimenty s přidávkou živin, které objasňují mikrobiální metabolismus potoků.
Foto J. Hruška.

8/ Odborná podpora a rozvoj organizace

M. VAJSKEBROVÁ, J. PROCHÁZKOVÁ

V souvislosti s měnícími se globálními a národními prioritami rovněž Česká geologická služba optimalizuje a rozvíjí strategické směry svého rozvoje. Vzniká tak nový cíl strategického plánu výzkumu, jehož vizí je efektivní podpora odborných i aplikovaných činností a rozvoj samotné organizace. Jde o vývoj nových analytických i zobrazovacích laboratorních metod a využití digitálních technologií, uplatňujících se jak v průzkumu, tak v modelování geologických procesů a objektů. Součástí je také publikování a interpretace dosažených výsledků a činností ČGS a obecně popularizace geologických oborů, které jsou pozitivně vnímány ze strany veřejnosti. Významným pilířem rozvoje vědecké organizace je i rozvoj lidských zdrojů v podobě posilování kompetencí všech pracovníků. Vzniká tak multidisciplinární cíl, který propojuje a prohlubuje spolupráci mezi jednotlivými vědeckými týmy. Směr v rámci rozvoje ČGS pružně reaguje na potřeby dlouhodobě udržitelného rozvoje společnosti a zároveň plní významnou úlohu ve vzdělávání a při popularizaci geologie.

8.1. VÝZKUM A VÝVOJ ANALYTICKÝCH A ZOBRAZOVACÍCH LABORATORNÍCH METOD

T. MAGNA, F. LAUFEK

Tato oblast výzkumu zahrnuje rozvoj laboratorních a instrumentálních metodik pro vědecké potřeby pracovníků České geologické služby tak, aby organizace byla v maximální možné míře soběstačná a aby nabízela plnohodnotnou analytickou infrastrukturu pro vzrůstající počet projektů a zakázek, ve kterých Česká geologická služba hraje integrální roli řešitele či klíčového spoluřešitele.

Vývoj nových analytických metod je prováděn v návaznosti na výzkumné projekty řešené v České geologické službě, zejména v rámci SPV okruhů 1, 2, 3, 4 a 7, a ve spolupráci s uživateli laboratoří. Výsledky laboratoří jsou využívány v celé řadě činností a projektů České geologické služby, ale i externích projektů (např. GAČR, TAČR, MŠMT aj.) a zadavatelů.

8.1.1. Laboratoř rentgenové mikroanalýzy (LAREM)

Laboratoř je vybavena moderním elektronovým mikroskopem Tescan Mira3 GMU FEG-SEM se dvěma EDS detektory Ultima Max 100, WDS detektorem Wave 500 a EBSD systémem Symmetry (Oxford Instruments). Vybavení umožňuje studovat nedestruktivním způsobem pevné materiály v mikro a nanoměřítku. Laboratoř zajišťuje analytickou podporu stávajícím i nově plánovaným výzkumným projektům a rozvíjí nové metodiky analýz geomateriálů se zaměřením na analýzu v nanoměřítku.



Pracoviště elektronové mikroskopie a mikroanalýzy ČGS v Praze na Barrandově.
Foto F. Laufek.

8.1.2. Laboratoř rentgenové difrakce

Laboratoř je vybavena práškovými difraktometry Bruker D8 Advance s detektorem LynxEYE XE a difraktometrem Philips X'Pert. Difraktometr Bruker D8 Advance umožňuje difrakční studium pevných krystalických vzorků v klasické Bragg-Brentanově geometrii na odraz, v transmisní geometrii na fólii a v kapiláře. Vybavení (XYZ stolek, fokusující Gobelovo zrcadlo, sada kolimátorů, kamera) umožňuje také snímkovat omezené malé plochy pevných vzorků (tzv. mikrodifrakce). Laboratoř provádí kvalitativní i kvantitativní fázovou analýzu včetně separace a následné difrakční analýzy jílové frakce a poskytuje tak základní analytickou podporu stávajícím i nově plánovaným projektům. Výzkumná činnost pracovníků laboratoře zahrnuje řešení a zpřesňování krystalových struktur nových přírodních a syntetických fází s platinovými kovy, vývoj a optimalizace metod kvantitativní fázové analýzy geologických vzorků a studium jílových minerálů, včetně modelování rtg. difrakčních záznamů komplexních smíšeně vrstevných struktur jílových minerálů.

8.1.3. Rozvoj a aplikace chromatografie, analýzy biomarkerů a atmogeochemického monitoringu

Metodami plynové chromatografie s hmotově selektivní detekcí jsou zkoumány molekulární biomarkery v paleozoických, jurských a paleogenních sedimentech ve vztahu k diagenézi a faciální diverzitě paleoprostředí. Bitumény a minerální fáze v karbonátech jsou zkoumány fluorescenční mikroskopií. Ve vybrané oblasti jv. okraje Českého masivu jsou analyzovány interakce hornin a fluid s cílem zdokonalit metody sledování potenciálních změn při ukládání oxidu uhličitého v horninovém prostředí. Rozvíjeny jsou také metody geochemického monitoringu výstupu plynů z horninového prostředí do atmosféry.

Chromatograf Shimadzu GCMS-QP2010 SE,
Centrální laboratoř Brno,
pro analýzu biomarkerů
v sedimentárních
horninách a fluidech
a organických polutantů
v horninovém prostředí.
Foto J. Franců.



8.1.4. Laboratoř konvenčních stabilních izotopů

Laboratoř je vybavena řadou přístrojů pro stanovení prvkového a izotopového složení konvenčních stabilních systémů (H, C, N, O, S). Přístroj IRMS Delta V Advantage IRMS je používán zejména pro stanovení ^2H , ^{13}C , ^{15}N , ^{18}O a ^{34}S ve spojení s nově instalovaným prvkovým analyzátozem EA Flash CNS. Tyto metodiky jsou primárně využívány pro analýzu vody a v ní rozpustěných složek, sedimentů, půd, rašelin, přírodních plynů, organických látek, ložisek sulfidů a sulfátů. Dále slouží ke sledování znečištění vodních zdrojů a atmosférické depozice. Aplikované studie zahrnují archeologické matrice, úložiště, skládky, úniky do vodních zdrojů aj.

8.1.5. Ultrastopová laboratoř

Ultrastopová laboratoř slouží k přípravě vzorků v kontrolovaném prostředí, aby bylo zamezeno kontaminaci a znehodnocení zkoumaných materiálů. Laboratoř je vybavena vícenásobnou filtrací k zajištění dostatečné kvality vzduchu, systémem výroby vysoce čisté vody, systémy pro destilaci ultračistých minerálních kyselin, přesnými váhami, centrifugou, digestoři a třemi pracovišti pro chemické separace. Příprava vzorků v přísně kontrolovaném režimu čistoty je klíčovou součástí chemické a izotopové analýzy.

8.1.6. Laboratoře hmotové spektrometrie a laserové ablace

Laboratoře LA-ICPMS, MC-ICPMS a TIMS poskytují uživatelům moderní instrumentální vybavení k získání mezinárodně srovnatelných datových souborů. Systém laserové ablace Analyte Excite (Teledyne Cetac; 193 nm Excimer, dvouobjemová HelEx cela, 2,5–150 mm laserový svazek) ve spojení s ICPMS Agilent 7900x (Agilent Technologies) je využíván k U–Th–Pb datování minerálních frakcí (zirkon, monazit, titanit atd.) a stanovení prvkových obsahů v různých minerálních fázích (silikáty, fosfáty, karbonáty, sulfidy, oxidy). Rutinní koncentrační analýza roztoků je prováděna pomocí ICPMS Agilent 7900x.

Neptune MC-ICPMS je určen ke stanovení izotopového složení konvenčních radiogenních systémů (Sr, Nd, Pb, Hf) a netradičních stabilních systémů (Li, Mg, Si, Fe, Cr, Ni, Cu, Zn, Mo, Cd) v pestré škále materiálů, zahrnující horninové, environmentální a archeologické matrice. Taková data slouží k lepšímu pochopení zdrojů tavenin a sedimentů, procesů korové kontaminace,

mixingu, asimilace, metasomatózy, hydrogeologie, sledování zdrojů materiálů, znečištění a migračních tras aj. Ve spojení s laserovou ablací slouží Neptune MC-ICPMS k in situ analýze izotopového složení Hf v zirkonových populacích pro upřesnění korového vývoje.

Triton Plus TIMS je primárně využíván k vysoce přesným stanovením izotopového složení Sr, Nd, Os, Re a Ca v horninovém a životním prostředí.

8.2. ROZVOJ DIGITÁLNÍCH TECHNOLOGIÍ V GEOLOGII

J. JELÍNEK, J. FRANĚK, J. JELÉNEK, K. SCHULMANN

Digitální technologie využívané v ČGS tvoří pouze podmnožinu z řady existujících technologií. Pozornost je soustředěna na databázové systémy, dálkový průzkum Země (DPZ), modelování geologických procesů a 3D modelování geologických objektů. Tyto obory poskytují svými výstupy a analýzami podporu dalším oborům ČGS, které byly zmíněny dříve v kapitolách 1, 3, 4, 5 a 6.

Rozvoj digitálních technologií je obrovský. ČGS musí držet krok se světem i na této úrovni, a proto chceme nadále níže zmíněné obory rozvíjet a současně se věnovat novým, jako je například urbanistická geologie. V následujícím textu jsou jednotlivé obory stručně představeny a podrobněji nastíněn směr jejich rozvoje.

8.2.1. 3D modelování a vizualizace v geologii

3D modelování a vizualizace horninového prostředí napomáhá lepšímu prostorovému porozumění souvislostí mezi jednotlivými geologickými objekty. Detailní znalost stavby zemské kůry je nezbytná pro efektivní a zároveň bezpečné využívání horninového prostředí. Tento obor vstupuje do většiny oborů zmíněných výše v kapitolách 1, 3, 4, 5 a 6.

V rámci tohoto oboru jsou nastaveny procesy a postupy jednotné a systematické tvorby a využívání 3D geologických modelů v ČGS. Smyslem činnosti je další rozvoj a zefektivnění tvorby 3D geovědních modelů, jejich ukládání a prezentace. V následujícím období bude důraz kladen primárně na technickou stránku věci, jako je zpřesnění jednotné metodiky tvorby 3D geologických modelů a rozvoj potřebných databází, SW nástrojů a procesů. Cílem je výhledově pevně zakotvení ČGS do pozice důvěryhodného geovědního poradního orgánu při projektování rozsáhlých podzemních staveb pro státní organizace typu SŽ, SURAO, ČEZ nebo ŘSD a související tvorbě 3D geologických modelů.

Strategické cíle

- tvorba 3D geologických a ložiskových modelů,
- tvorba 3D modelů důlních děl/podzemních prostor a navazujících modelů vlivů poddolování,
- systematické a jednotné ukládání modelů vč. vstupních dat v ČGS,
- vývoj a rozvoj souvisejících databází a podpůrných SW nástrojů,
- prezentace modelů (web, 3D tisk, apod.),
- interoperabilita – metodika exportu 3D modelů pro využití v navazujících aplikovaných pracích – HG a IG numerické simulace, projektování v SW typu CAD apod.

8.2.2. Využití DPZ, UAV a rozvoj fotogrammetrických metod

Dálkový průzkum Země (DPZ) je dynamický obor, který se zaměřuje na využití dat snímáných platformami nad povrchem Země (družice, letadla, drony). Pracoviště dálkového průzkumu

Země dlouhodobě rozvíjí metody a aplikace, které tato data analyzují a poskytují tak podporu multioborovým projektům ČGS v ČR i v zahraničí. Obor DPZ těží již několik let z dostupnosti dat satelitního programu Copernicus, které jsou k dispozici zdarma a nabízejí revoluční časové i prostorové rozlišení. Na základě těchto dat pracoviště DPZ vyvíjí inovativní metody a automatické nástroje, které umožňují dávkové zpracování a velkokapacitní výpočty v cloudovém prostředí v oblasti detekce vody v krajině či hodnocení geohazardů. Na druhé straně je pracoviště DPZ již plnohodnotně etablováno v oboru radarové interferometrie, ať již využitím v projektech ČGS, tak vývojem nových metod a publikací v impaktových periodikách. Samostatnou kapitolou jsou metody obrazové spektroskopie, které byly na pracovišti DPZ rozvíjeny řadu let a vyústily v úspěšné automatické nástroje a impaktové publikace. Pracoviště dále disponuje flotilou pokročilých dronů, včetně řady profesionálních kamer, pro které vytvořilo metodiky snímání a zpracování dat. V celé řadě činností úzce spolupracuje a využívá podklady z výše zmíněných oborů.

Strategické cíle

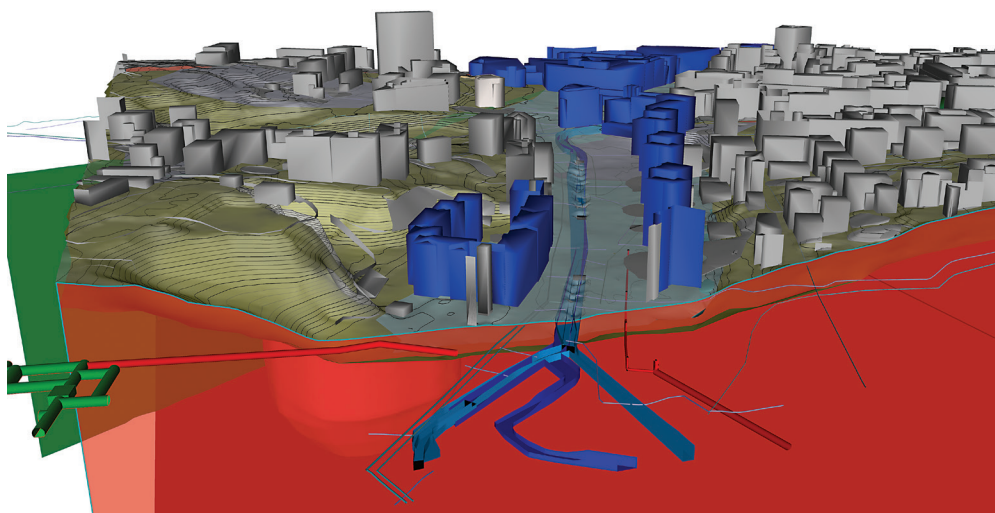
- tvorba automatických a poloautomatických nástrojů pro zpracování a analýzu distančních dat,
- rozvoj metod DPZ za účelem detekce a analýzy geohazardů,
- osvojení a integrace profesionální hyperspektrální a termální UAV kamery do činností a úkolů pracoviště,
- využití nejmodernějších zobrazovacích metod virtuální reality,
- zvýšení mezioborové spolupráce s geologickými vědami.

8.2.3. 3D modelování a vizualizace pro účely samospráv (urbanistická geologie)

Města ve světle probíhající změny globálního klimatu čelí rostoucím geohazardům a tlakům, které se přímo týkají horninového prostředí. Tlak na využití horninového prostředí pod povrchem dále roste se stále se zmenšujícím volným prostorem na povrchu. Tím vzniká celá řada konfliktních situací, které mohou vyústit v trvalé znehodnocení zdrojů podzemní vody, termálního potenciálu podzemí nebo k dalším problémům. Těmto konfliktním situacím a zejména jejich následnému nákladnému řešení lze předcházet zohledněním geologických znalostí a věd do městského plánování. Geoinformační městské modelování (GeoCIM) je technika, která integruje povrchové a podpovrchové geoinformace z celé řady geovědních oborů a dohromady poskytují samosprávám komplexní informace o městském podpovrchovém prostoru a jeho interakci s povrchem. Urbanistická geologie se vyznačuje širokou mezioborovostí. Logicky tak ke svému řešení potřebuje spolupráci a přejímání expertních znalostí z kapitol 1, 3, 4, 5, 6. GeoCIM modely jsou novým konceptem, který je stále ve svých počátcích, zejména z pohledu technologického. ČGS v posledních letech aktivně spolupracuje na mezinárodní úrovni na rozvoji této techniky a na národní úrovni pak vytvořila pilotní model pro modelové území v Liberci. Součástí pilotního projektu byly také návrhy na interaktivní vizualizace, které by do budoucna měly sloužit pro snadnější získávání informací městskými úředníky.

Strategické cíle

- rozvoj interaktivní vizualizace na komerčních i open-source platformách,
- integrace dalších typů dat, zejména geotermálního potenciálu a povrchových analýz DPZ v rámci pokračující spolupráce s partnerskými městy Liberec a Litoměřice,
- demonstrace pilotního modelu městským samosprávám,
- pokračování snahy o získání externího financování,
- pokračující účast na mezinárodním rozvoji GeoCIM technologie a rozvoj mezinárodní spolupráce.



Náhled pilotního GeoCIM modelu centra města Liberec.

8.2.4. Modelování geologických procesů

Problematika vzniku a vývoje zemské kůry a její interakce s pláštěm jsou fundamentální povahy v geologických vědách a jako takovým jim ČGS věnuje adekvátní pozornost. Tento obor zahrnuje petrologický, strukturně tektonický a geochemický výzkum orogenních procesů spjatých s kontinentální kolizí a akrecí oceánské kůry. Zabývá se také procesy korového růstu, recyklace, reologie, struktury a formování zemské kůry a tečení magmat za použití široké škály metod od metamorfní a magmatické petrologie, přes geofyziku, DPZ, geochronologii, strukturní geologii po numerické a analogové modelování.

Strategické cíle

- metodika definice rezervoáru, tj. architektura a propustnost puklinové sítě v horninovém masivu a celková 3D stavba zájmového geologického tělesa,
- využití moderních geofyzikálních metod včetně „machine learning“ přístupů v geofyzice, založených na databázi cílových rezervoárů.

Veškerá činnost v ČGS je více či méně spjata s digitálními technologiemi. Vyprodukovaná a analyzovaná data, která nepodléhají speciálnímu režimu a jež byla využita pro přípravu různých typů výstupů včetně 3D modelů, je nezbytné uchovávat a zveřejňovat. Proto je důležité úzce spolupracovat s popularizačním týmem (viz 8.3), jehož hlavním úkolem je zajistit co nejširší informovanost veřejnosti o aktivitách ČGS.

8.3. POPULARIZACE

P. FIFERNA, M. VAJSKEBROVÁ

Porozumění geologickým procesům a jevům a jeho provázání s ostatními vědeckými znalostmi významně přispívá k rozvoji vzdělané společnosti, která je ke svému životnímu prostředí šetrná a cíleně směřuje k udržitelnému rozvoji. Výzkumné úkoly uvedené v předchozích kapitolách přinášejí nové poznatky, objevují další vztahy a získávají množství dat, která společně umožňují rozvoj znalostí, dovedností a motivací aktivně jednat ve prospěch životního prostředí. Pro dostatečné uplatnění získaných výsledků geologického výzkumu i jejich využití v praxi



Populárně naučné aktivity zvyšují viditelnost České geologické služby ve veřejném prostoru a zároveň přispívají k rozvoji environmentálně příznivé společnosti.

a pro další vědní obory a zvýšení obecného povědomí o geologii u široké veřejnosti je třeba získané informace nejen zpřístupňovat, ale také tato témata do celospolečenské diskuze a života vnášet a přispívat k jejich širšímu pochopení. ČGS jako státní garant geologických informací představuje jednu z nejvyšších autorit v oblasti geologických věd pro odbornou i laickou veřejnost. Proto se jedním ze strategických cílů na roky 2023–27 stává i tvorba a naplňování jednotné koncepce popularizačních aktivit v ČGS. Naše instituce je stěžejním zprostředkovatelem geologických informací a výsledků nejnovějších výzkumných projektů nejširší veřejnosti a hraje nezastupitelnou roli v posilování významu oboru geologie ve společnosti a podpoře zájmu o tento obor u mladší generace.

Současný stav

Se zvyšující se poptávkou po dostupnosti odborných geologických dat a potřebou jejich pochopení, včetně vazeb s dalšími vědními obory, se přirozeně zvyšuje také nabídka, která těmto výzvám vychází vstříc. Popularizační aktivity v ČGS jsou velmi pestré a různorodé, řada odborných pracovníků ČGS si je vědoma důležitosti vhodné komunikace a interpretace svých výsledků a opakovaně a po dlouhou dobu se této činnosti věnuje. Je možné zaznamenat vzrůstající zájem médií o problematiku spojenou s naší činností, např. diskuze o zdrojích podzemní vody v okolí dolu Turów, surovinách pro stavební průmysl, kritických surovinách aj. Stále častěji se na nás obrací s žádostí o vhodně připravená a zobrazená data státní i další instituce, spolupracujeme s managementem národních geoparků, s orgány ochrany přírody, se školskými a jinými vzdělávacími zařízeními a komunikujeme s širší veřejností. Dokladem je např. značný zájem o účast na Geologických dnech s ČGS, zapojení škol do našich vzdělávacích projektů (Objevy čekají na Tebe, Vědou ke vzdělání, vzděláním k vědě, Geologická olympiáda aj.), návštěvnost a úspěch mnoha webových aplikací, videí, virtuálních realit, publikací, map aj.

Strategické cíle

Přirozeně zde tedy vyvstává nutnost stanovení dlouhodobé podnikové nadřazené koncepce se specifikací konkrétních žádoucích směrů a cílů, která by tyto aktivity sloučila a umožnila je lépe koordinovat a jejich řešitelům navzájem lépe kooperovat. Nutným předpokladem je nejprve analýza probíhajících činností, na kterou bude navazovat vzájemná konzolidace vy-

braných aktivit a jejich následná průběžná koordinace. Některé projekty v minulosti finančně podpořené jsou po ukončení podpory stále žádané, a proto je vhodné v aktivitách pokračovat a dále je rozvíjet. Mezi hlavní cíle popularizačních a propagačních aktivit patří zejména:

- prezentace výsledků výzkumných projektů a propagace ČGS – webové stránky projektů RENS, Ukládání CO₂, Registr svahových nestabilit,
- zpřístupňování získaných geologických dat – mapové aplikace (Geologické zajímavosti ČR, Popularizace geologie, Významné geologické lokality, Historie geologického mapování) a databázové aplikace (Fotoarchiv, Dekorační kameny, Virtuální muzeum),
- populárně-naučné aktivity – elektronické služby (Zeptejte se geologa, e-shop Geologického knihkupectví), webové aplikace (Geologický slovník, Geologická encyklopedie), webové stránky (Svět geologie, Naučné geologické stezky, Národní geoparky, Zprávy o geologických výzkumech, Kalendář geologa), pořádání akcí pro veřejnost (Geologická olympiáda, Geologický den s ČGS), tvorba výukových či dokumentačních videí, animací, rozšířených realit, tištěných turistických geologických map a průvodců, výstav s geologickou tematikou, pořádání přednášek, seminářů, exkurzí,
- systémová spolupráce při ochraně geologického dědictví (spolupráce s AOPK a dalšími orgány ochrany přírody, v mezinárodním prostoru v rámci asociace ProGEO).

Cílem těchto popularizačních aktivit v ČGS je prostřednictvím vhodné prezentace znalostí o životním prostředí podporovat rozvoj vzdělané, informované, zodpovědné a environmentálně příznivé společnosti.

8.4. PODPORA LIDSKÝCH ZDROJŮ

Z. BUKOVSKÁ, H. ŽEMLIČKOVÁ

Základem každé úspěšné organizace je její personál, který přináší výsledky a realizuje veškeré činnosti. Proto práce s lidskými zdroji musí být základním pilířem rozvoje vědecké organizace, stejně jako rozvoj nových metod nebo vědecká témata. Posilovat kompetence pracovníků je třeba stejně tak ve vědeckých tématech, jako v tzv. měkkých dovednostech. Zároveň je třeba vychovávat navazující generace pracovníků a zajistit přenos znalostí z kariérně zkušenějších na kariérně mladší kolegy. Nedílnou součástí práce s mladšími je také podpora výuky, zejména na vysokých školách, včetně odborného vedení a školení studentů.

Současný stav

V rámci ČGS jsou stabilně předávány zkušenosti od kariérně starších kariérně mladším kolegům na individuální úrovni. Začlenění do vědecké práce a podpora v ní je realizována projektem mentoringu. Mnozí pracovníci patří mezi špičky ve svém oboru, proto v rámci svých činností vyučují (zejména) na vysokých školách, čímž předávají nadšení, přístup k vědecké práci a kariérní zkušenosti dalším generacím. Osobnostní i kariérní rozvoj pracovníků je realizován nárazově formou kurzů.

Strategické cíle

- podpora kariérně mladších pracovníků v rámci mentoringového programu,
- vzdělávací kurzy,
- pedagogická činnost a výchova studentů,
- stáže zaměstnanců i externistů.