

Chemické a petrofyzikální změny při greisenizaci žul krušnohorského batolitu

Chemical and petrophysical changes during greisenization of the granites in the Krušné hory batholith

MIROSLAV ŠTEMPROK¹ - MARTA CHLUPÁČOVÁ² - EDVÍN PIVEC³ - JIŘÍ K. NOVÁK³ - MILOŠ LANG³

(01-34 Rolava, 01-43 Horní Blatná, 11-21 Karlovy Vary, 11-23 Sokolov, 02-33 Chomutov, 02-31, Litvínov, 03-32 Teplice, 02-14 Petrovice)

Krušné hory batholith, Greisenization, Modal, chemical and petrophysical analyses of granites, Greisens, Granite cupolas

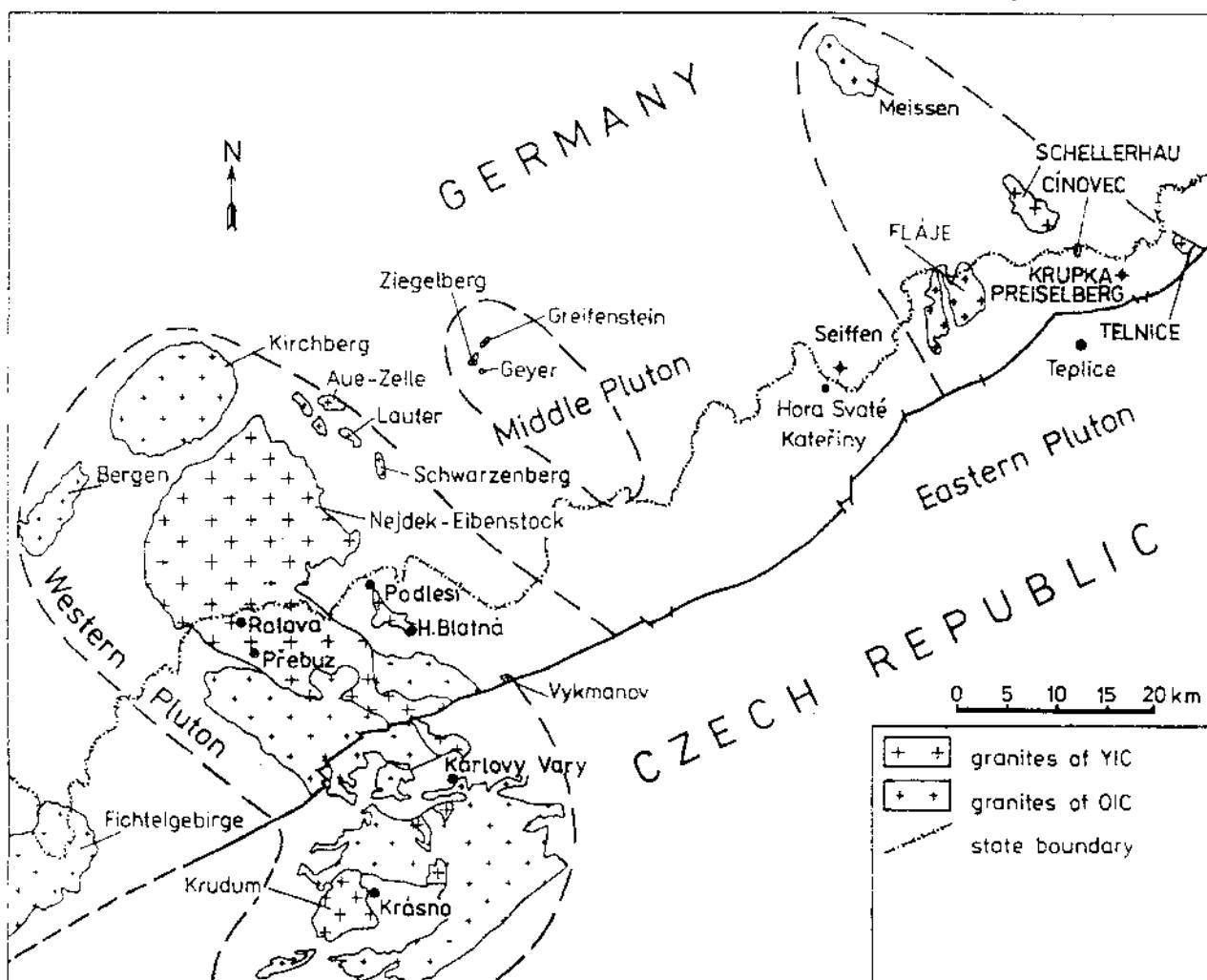


Greiseny jsou metasomatické horniny vznikající v post-magmatickém stadiu vývoje granitů. V rámci grantu GA ČR 205/95/0149 byly studovány žulové greiseny z východokrušnohorského plutonu (Cínoch, Krupka) a západokrušnohorského plutonu (Horní Blatná, Přebuz, Rolava a Krásno) krušnohorského batolitu. Cílem studia bylo doplnit zejména údaje o hlavních silikátových složkách, analýzy stopových prvků, zejména o prvky vzácných zemin, a shromáždit data o petrofyzikálních vlastnostech (údaje o magnetické susceptibilitě, mineralogické hustotě a pórozitě). Doplnění těchto dat umožní rozhodnout o vlivu greisenizace na některé vlastnosti, které určují moderní klasifikaci granitů jako je genetická klasifikace (I-, S- a A-typů) nebo klasifikace na základě magnetických vlastností žul (ilmenitová nebo magnetitová série).

Greiseny a s nimi spjaté žuly byly analyzovány v laboratořích Geologického ústavu AV ČR, v Ústavu jaderné fyziky v Řeži a v laboratořích Analytika, s.r.o v Praze. Petrofyzikální vlastnosti byly měřeny původně v Geofyzice Brno a v současné době v Petroně a Agicu v Brně standardními metodami. Modální složení bylo stanoveno bodovou metodou na stolku Eltinor 4.

Geologická situace

Krušnohorský batolit, který je z největší části skryt pod plášťem krystalických břidlic (proterozoika a spodního paleozoika) nebo pod platformními sedimenty a neovulkany severočeských pánví je tvořen dvěma povrchovými výchozy východokrušnohorského a západokrušnohorského



Obr. 1. Schematická mapa krušnohorského batolitu podle Förstera a Tischendorfa (1994) s lokalitami studovaných greisenů
YIC – granity mladšího intruzivního komplexu; OIC – granity staršího intruzivního komplexu

plutonu na českém území (obr. 1). Greiseny se vyskytují ve spojení s cínovým a wolframovým zrudněním v obou plutonech. Jsou dvojho typu, v závislosti na složení slíd: 1) lithné s cinvalditem nebo protolithionitem a 2) muskovitické nebo muskoviticko-sericitické. Lithné greiseny studované v německé části západokrušnohorského plutonu jsou interpretovány jako starší než muskovitické greiseny (Kühne et al. 1972), což bylo potvrzeno Čadou a Novákem (1974) na Cínovci a Novákem (1994) na Horní Krupce.

Mineralogické složení

Lithné greiseny se skládají z křemene, cinvalditu (protolithionitu) a topazu jako hlavních a fluoritu, hematitu, dickitu, sericitu (hydromuskovitu), zbytků živců, novotvořených draselných nebo sodných živců jako podřadních minerálů. Rudní minerály jsou zastoupeny kasiteritem, wolframitem, scheelitem, arsenopyritem (löttingitem), sfaleritem, chalkopyritem, pyritem, vizmutem a bismutinem. Molybdenit je vzácný. Turmalín též úplně chybí v žulách východokrušnohorského plutonu, zatímco je podřadně zastoupen v žulách západokrušnohorského plutonu.

Muskovitické greiseny se skládají z křemene, muskovitu, topazu, fluoritu, sericitu, hematitu, kaolinitu (dickitu) a z rudních minerálů uvedených výše, vedle zbytků živců a novotvořených živců. Ve všech greisenech se vyskytují v různých podstech reliktní biotity a případně křemen z původní žuly.

Při modálních analýzách byly odlišovány tři generace křemenců, dvě generace lithních slíd a dvě generace mus-

kovitu. Rovněž byly odlišeny reliktní živce od novotvořeného albitu a adularu, protože náležejí k různým vývojovým stadiím.

Tyto modální analýzy byly přepracovány na hlavní silikátové složky a pro některé vybrané lokality sledovány variacioní řady těchto změn složení. Ve všech případech bylo konstatováno značné kolísání obsahů v závislosti na zařazení hlavních minerálů. V řadě případů bylo možno sledovat složení od monominerálních greisenů tvořených jedním hlavním minerálem ke greisenům tvořeným dvěma až třemi hlavními minerály. Modální složení a přepracované chemické složení jsou uvedeny v tabulce 1 pro vybrané čtyři lokality.

Obsah hlavních petrogenických oxidů

Průměrné složení lithních a muskovitických greisenů vyčtené ze 31 analýz z české části krušnohorského batolu (Novák et al. 1980) ukazuje, že průměrný greisen se zásadně chemicky nelíší od bočního granitu v podílu SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , CaO , MgO , K_2O , ale má stabilně zvýšený obsah $\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$ a Li_2O a F při nižším obsahu Na_2O .

Tak lithné greiseny z Horní Krupky obsahují více SiO_2 , TiO_2 , Fe_2O_3 a Fe než výchozí žula, zatímco MgO , CaO , Na_2O a K_2O jsou výrazně sníženy. Na Krásné se při greisenizaci zvýšilo Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , MgO , CaO a F, zatímco Na_2O a K_2O byly sníženy. Křemencem bohaté greiseny na Hubském pni obsahují vždy více SiO_2 , Fe_2O_3 , CaO a F než žula, zatímco ostatní oxidy byly sníženy nebo zvýšeny vyjma Na_2O , které bylo vždy sníženo. V muskovitických greisenech na Rolavě a Přebuzi dochází ke

Tabulka 1. Modální složení greisenů (obj. %)
(Modal composition of the greisens, vol. %)

poř. č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
lokalita	Cínovec-jih				Krupka-Preisselberg II			Rolava	Přebuz
asociace	ci+kř	to+ci+kř	ciPi+kř	ad+ci+kř	to+ci+kř	to+kř	mu+kř	mu+kř	mu+kř
křemen I	80,50	71,80	45,60	45,60	48,80	67,40	67,50	75,58	49,59
křemen II	5,55	1,10	15,00	9,60	1,85	8,85	8,60	-	-
K-živec(pertit)	-	-	-	-	-	-	-	2,23	10,71
adular	0,20	-	4,80	-	-	-	-	-	-
albit	0,10	0,30	-	0,20	-	-	-	-	-
biotit	-	-	-	-	-	-	-	-	-
biotit (muskovit)	-	-	-	-	-	-	-	0,27	-
cinvaldit I	7,20	10,70	17,60	19,50	-	-	-	-	-
cinvaldit II	0,20	0,10	10,00	0,25	-	-	-	-	-
protolithionit	-	-	-	-	37,10	0,05	0,20	-	2,37
muskovit	-	-	-	-	-	1,50	20,60	17,62	24,69
topaz	3,25	12,80	0,50	0,60	10,40	15,10	0,30	-	0,05
fluorit	0,10	1,00	0,30	2,70	0,60	2,00	0,20	-	-
siderit	-	-	-	-	-	-	-	0,10	-
sericit	2,50	1,30	9,60	15,80	1,05	4,60	0,70	-	-
kaolinit	-	-	-	-	-	-	-	2,20	0,71
hematit	-	0,55	0,10	-	-	0,05	0,85	0,92	1,75
arsenopyrit	-	-	-	-	-	-	-	0,04	-
kasiterit	0,26	0,16	1,05	0,85	st.	0,06	0,62	1,03	0,09
wolframit	0,08	0,14	0,10	0,06	0,16	0,24	-	-	-
scheelit	0,06	0,05	0,01	0,04	-	0,15	0,26	-	-
molybdenit	-	-	-	-	0,03	-	0,03	-	-
vizmut+bismutin	-	-	0,01	-	-	st.	0,03	-	-
ostatní sulfidy	-	-	0,13	-	st.	-	0,10	-	-

Rekonstruované chemické složení
(Reconstructed whole-rock chemical composition, wt. %)

SiO ₂	89,83	78,63	74,68	72,32	66,24	80,06	84,20	84,17	73,56
TiO ₂	st.	st.	0,01	st.	0,02	st.	0,06	0,06	0,22
Al ₂ O ₃	4,98	11,56	9,90	11,20	15,67	12,17	7,33	7,04	12,93
Fe ₂ O ₃	0,43	1,30	1,29	1,22	1,04	0,24	1,20	1,35	2,98
FeO	0,67	0,94	2,74	1,67	6,55	0,17	0,49	0,57	1,64
MnO	0,06	0,09	0,25	0,16	0,24	0,05	0,01	0,01	0,07
MgO	0,02	0,03	0,05	0,07	0,05	0,02	0,17	0,18	0,32
CaO	0,16	0,68	0,36	1,81	0,44	1,23	0,32	0,09	0,32
Li ₂ O	0,23	0,32	0,90	0,60	0,62	st.	0,01	0,005	0,01
Na ₂ O	0,24	0,35	0,56	0,66	0,09	0,01	0,17	0,25	1,27
K ₂ O	0,96	1,10	3,47	3,92	3,24	0,55	2,33	2,14	4,33
P ₂ O ₅	—	st.	—	st.	—	—	st.	0,01	0,01
H ₂ O ⁺	0,27	0,50	0,79	1,07	1,72	0,57	1,29	1,41	1,77
F	1,21	3,75	2,03	2,81	3,75	4,12	0,29	0,09	0,24
S	—	—	0,11	—	0,01	—	0,13	0,03	—
H ₂ O ⁻	0,04	0,03	0,16	0,27	0,04	0,08	0,05	0,05	0,08
SnO ₂	0,63	0,37	2,48	2,02	—	0,14	1,50	2,50	0,22
WO ₃	0,25	0,33	0,20	0,17	0,22	0,57	0,51	—	—

stabilnímu zvýšení SiO₂, Fe₂O₃, FeO a F, zatímco ostatní oxidy vykazují různý poměr vůči bočním granitům kromě obsahu Na₂O, který je vždy snížen. Všechny tyto změny vyjádřené chemickými analýzami dobrě souhlasí s pře- počty z modálních rozborů.

Mineralizace s jednotlivými typy greisenů je však zřejmě spojena s postgranitovou tektonikou. Tak např. na Cínovci je kasiteritové zrudnění vázáno na trhlinovou greisenizaci II ve velkých greisenových tělesech (Čada - Novák 1974). Na Krupce - Preisselberku II je wolframitová mineralizace vázána na ploše uložené topaz-křemenné greiseny (Novák 1994), zatímco kasiterit-scheelitová mineralizace je spjata se strmými puklinovými muskoviticko-křemennými greiseny. Mineralizace greisenů může být kontrolována také regionálně. Např. wolframitové greiseny chudé kasiteritem se vyskytují na kontaktech žulových kopulí v topaz-křemenných greisenech na Vykmanově u Jáchymova nebo na Božím Daru, zatímco ve východokrušnohorském plutonu v greisenech kasiterit převládá.

Stopové prvky

Některé stopové prvky jako Zr, Hf, Th, U, Cu, Sr, Ba nebo Be vykazují nepatrné rozdíly mezi obsahy v greisenu a boční žule. Naproti tomu Ta, Nb, Pb a B naznačují charakteristické rozdíly v závislosti na typu greisenu. Velké rozdíly mezi žulou a greisenem charakterizují obsahy Sn, W, Bi, F, Zn, As v lithných i muskovitických greisenech. Zatímco v koncentracích Li, Rb a Cs v muskovitických typech greisenů jsou rozdíly nevýrazné, značně se zvýrazňují v případě lithných greisenů v albitických typech žul (Krupka, Krásno).

Prvky vzácných zemin

Normalizované křivky vzácných zemin v greisenech ukazují obecně pokles obsahu vzácných zemin ve srovnání s granitem. Průběh křivek greisenů a žul přitom bývá paralelní s výraznou negativní Eu anomalií. Tyto změny

jsou nejnápadnější u křemenných typů greisenů, jejichž velmi nízké obsahy prvků vzácných zemin poukazují na jejich mobilitu.

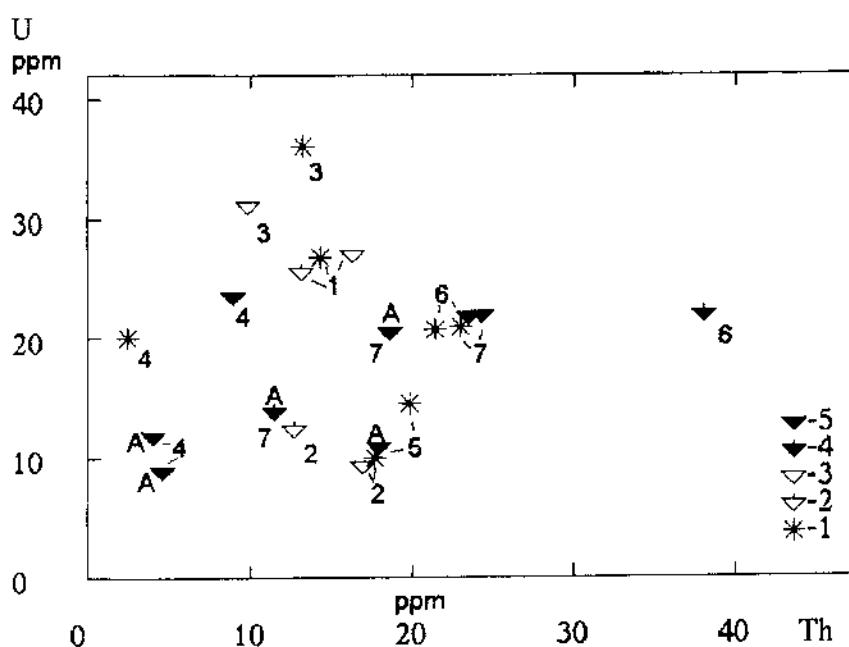
Petrofyzikální vlastnosti

Mineralogická hustota (Dg) greisenů kolísá mezi 2,69–3,00 g/cm³ v závislosti na modálním složení greisenů. Zatímco křemenem bohaté greiseny mají Dg kolem 2,70 g/cm³, slídnatotopazové greiseny jsou charakterizovány Dg 2,85 g/cm³. Menší zvýšení Dg může způsobit i větší podíl fluoritu, hematitu a kasiteritu. Boční žuly („čerstvé“ nebo přeměněné fylickými alteracemi) mají zpravidla Dg hodnoty mezi 2,62–2,70 g/cm³.

Pórovitost greisenů klesá zpravidla pod 3 %. V případě cínonošných pňů ovlivněných fylickou alterací je rozdíl mezi pórovitostí greisenů a obklupujících žul značný, protože pórovitost přeměněných žul kolsá v průměru mezi 4–10 % pro různé lokality, v extrémě přeměněných partiích dosahuje až 25 %. Proto celková objemová hustota pňů zobrazující rozdíl v porozitě mezi žulou a greiseny může být velmi variabilní.

Magnetická susceptibilita greisenů na studovaných lokalitách je malá, v řádu 10⁻⁴ SI. Nicméně hodnoty susceptibility v okolních žulách jsou zpravidla o řadu nižší. Výjimkou jsou křemen-topazové greiseny, kde tyto hodnoty mohou klesat až na 10⁻⁵ SI. Úroveň magnetické susceptibility je v greisenech určena povahou a množstvím slíd, dále přítomností hematitu nebo kasiteritu. Magnetit je v krušnohorských greisenech velmi vzácný nebo úplně chybí. Syenogranitový porfyr z východních Krušných hor je však silně magnetický ($\times 10^{-3}$ –10⁻² SI), ale při greisenizaci se tato vysoká susceptibilita snižuje na 500 × 10⁻⁶ SI.

Radioaktivita greisenů se mění podle lokality. Obsahy Th a U v greisenech a ve středně zrnitých, jen slabě fylicky alterovaných žulách (obr. 2) jsou téměř identické. Obsah drasliku v greisenech je závislý téměř výhradně na počtu slíd, zatímco v žulách je hlavně vázán v draselnych živcích.



Obr. 2. Průměrné obsahy Th a U v greisenech a okolních žulách krušnohorského batolitu

Značky: 1 – greisen; 2 – drobnozrná žula YIC; 3 – středně zrnitá žula YIC; 4 – drobnozrná žula Li typu YIC; 5 – středně zrnitá žula Li typu YIC; A – žula postižená intenzivní nízkoteplotní (fylíkou) alterací;
Lokality (čísla v obrázku): 1 – Přebuz, nejdecká část západokrušnohorského plutonu (ZKP); 2 – Rolava, nejdecká část ZKP; 3 – Blatenský vrch, ZKP; 4 – Krásno, hubský peň, slavkovská část ZKP; 5 – Krupka, vrt P-10, východokrušnohorský pluton, VKP; 6 – Horní Krupka, vrt série E, VKP; 7 – Cínovec, vrt CS-1, VKP

Závěry

Greiseny v krušnohorském batolitu vznikly v procesu složitých postmagmatických přeměn granitů po výstupu žul mladšího intruzivního komplexu. Muskovitické greiseny jsou většinou vázány na syenogranity, zatímco lithné odruhy jsou spjaty s alkalicko-živcovými granite. Oba typy greisenů obsahují v rozdílném podflu topaz. Chemické změny vedoucí ke greisenizaci jsou způsobeny řadou dílčích stadií přeměn, během nichž jsou živce a biotit nahrazeny novotvořeným křemenem, Li-slídami nebo muskovitem a topazem. Projevy greisenizačních přeměn byly kombinovány v různé míře sericitizací, argilitizací, silifikací, fluoritizací, hematitizací a sulfidizací. Chloritizace je vzácná a je lokálně omezena (Horní Slavkov, Milíře). Vznik turmalínu doprovází greisenizaci pouze v západokrušnohorském plutonu. Během greisenizace je většina akcesorických minerálů granitů rozložena kromě zirkonu, který je rezistentní vůči celému sledu přeměn. Greisenizace zvyšuje hustotu horniny ve srovnání se žulami přeměněnými fylíckými alteracemi nebo „čerstvými“ žulami. Pórovitost greisenů je většinou nižší než je pórovitost okolních žul přeměněných kaolinizací nebo sericitizací. Protože pórovitost nestejnomořně ovlivňuje celkovou objemovou hustotu, je velmi obtížné určit celkový obraz gravitačního pole žulové klenby, ve které se vyskytuje greisenové Sn-W zrudnění. Obecně platí, že greisenizace

nemění výrazně magnetické vlastnosti málo magnetických typů žul mladšího intruzivního komplexu. Výjimkou je syenogranitový porfyr z východních Krušných hor, jehož vysoká magnetická susceptibilita je zřetelně snížena při greisenizaci v důsledku rozkladu Fe-Ti oxidů.

Literatura

- Čada, M. - Novák, J. K. (1974): Spatial distribution of greisen types at the Cínovec-South tin deposit. In: M. Štemprok et al. (eds.): Metallization Associated with Acid Magmatism, 1, 383–388. – Ústř. úst. geol. Praha.
 Förster, H. J. - Tischendorf, G. (1994): The Western Erzgebirge-Vogtland granites: implication to the Hercynian magmatism in the Erzgebirge-Fichtelgebirge anticlinorium. In: R. Seltmann et al. (eds.): Metallogeny of Collisional Orogens. – Czech Geol. Surv., 35–48. Praha.
 Kühne, R. - Wasternack, J. - Schulze, H. (1972): Postmagmatic Metasomatose im Endo/Exokontakt der jüngeren postkinematischen Granite des Erzgebirges. – Geologie, 21, 4/5, 494–520. Berlin.
 Novák, J. K. (1994): Mineral associations at the Krupka (Graupen) greisenized stock. In: R. Seltmann et al. (eds.): Metallogeny of Collisional Orogens. – Czech Geol. Surv., 181–186. Praha.
 Novák, L. - Štemprok, M. - Richter, A. (1980): Petrochemické zhodnocení analýz žul krušnohorského plutonu. Rukopis projektu IGCP MAWAM. – Ústř. úst. geol. Praha.

¹ Přírodovědecká fakulta UK, Albertov 6, 128 43 Praha 2

² Petromag, Boháčova 866/4, 149 00 Praha 4

³ Geologický ústav Akademie věd ČR, Rozvojová 135, 165 02 Praha 6