

BP 4

Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta,
Ústav geologie a paleontologie

**Intruzívní a deformační historie východního okraje
středočeského
plutonického komplexu**

Bakalářská práce

Jaroslava Hajná



Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Jiří Žák, Ph.D.

Praha 2006

Obsah:

1. ÚVOD A CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	3
2. PŘEHLED GEOLOGIE STŘEDOČESKÉHO PLUTONICKÉHO KOMPLEXU A OKOLNÍCH JEDNOTEK	4
2.1. Geologie okolních jednotek	5
2.1.1. <i>Tepelsko-barrandienská oblast</i>	5
2.1.2. <i>Moldanubikum</i>	5
2.2. Geologie středočeského plutonického komplexu	6
2.2.1. <i>Geochemická klasifikace hornin středočeského plutonického komplexu</i>	6
2.2.2. <i>Radiometrická stáří hornin SPK</i>	7
2.2.3. <i>Intruzivní sekvence a geotektonická interpretace</i>	8
3. TEKTONICKÝ A STRUKTURNÍ VÝVOJ STŘEDOČESKÉHO PLUTONICKÉHO KOMPLEXU	9
3.1. Strukturní vývoj	9
3.1.1. <i>Shrnutí mechanismů vmístění a magmatických staveb</i>	11
3.2. Implikace pro vztah tepelsko-barrandienské a moldanubické jednotky	11
4. PŘEHLED GEOLOGIE VÝCHODNÍHO OKRAJE STŘEDOČESKÉHO PLUTONICKÉHO KOMPLEXU	14
4.1. Geologická pozice a kontakty	14
4.2. Charakteristika okolních jednotek	15
4.3. Geochemie benešovského granodioritu	16
5. ZÁVĚR A NÁSTIN BUDOUCÍHO VÝZKUMU	18
6. SEZNAM LITERATURY	19

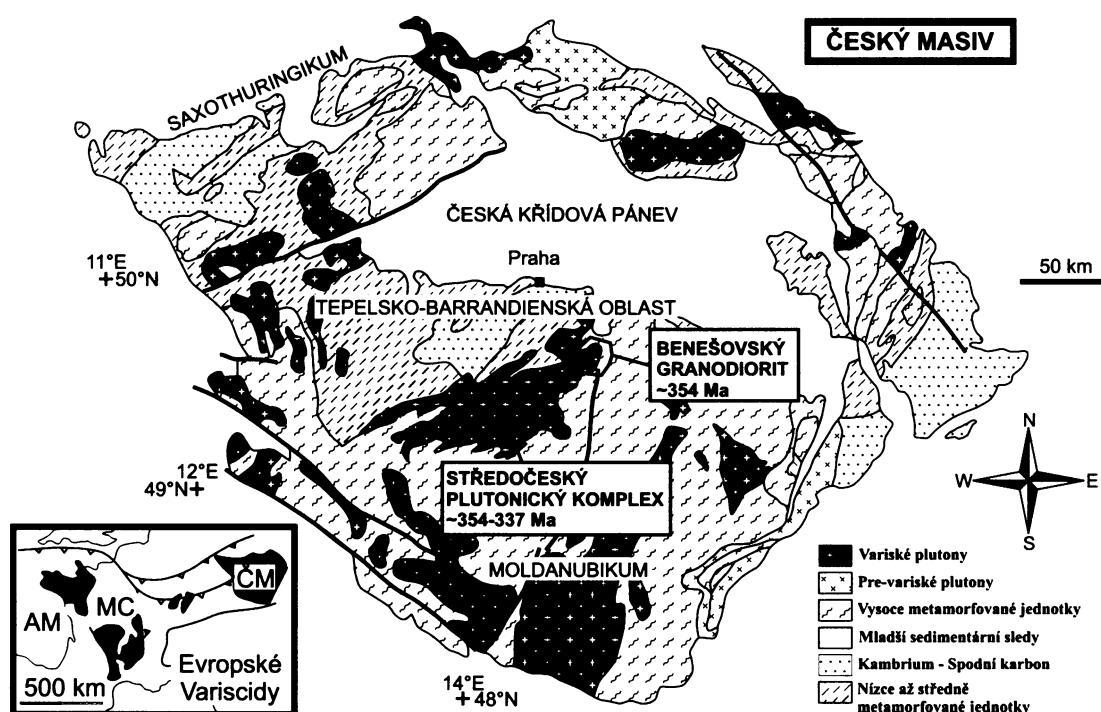
1. ÚVOD A CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I přes již značnou geologickou prozkoumanost našeho území se stále vyskytuje mnoho míst těmito studiemi téměř nedotčených. Jedním z nich je i východní okraj středočeského plutonického komplexu, který je také předmětem této bakalářské práce. Jejím cílem bylo vytvořit rešerši existujících moderních prací o celém středočeském plutonickém komplexu se zaměřením na jeho východní část označovanou jako „benešovský granodiorit“. Tato rešerše by měla sloužit jako podklad pro navazující diplomovou práci.

V první části bakalářské práce je stručně charakterizován středočeský plutonický komplex, jeho geologie, geochemie, radiometrická stáří a okolní geologické jednotky. V další části je pozornost zaměřena na strukturní vývoj tohoto plutonického komplexu, na pohledy na jeho umístění a na vztahy s okolními jednotkami. Poslední část se soustředí již na užší oblast, kterou je benešovský granodiorit. Z této oblasti bylo publikováno velmi málo dat, přesto lze z geologických map alespoň částečně definovat oblast tvořenou benešovským granodioritem, její velikost, tvar a typ kontaktů s okolními jednotkami. Na základě publikovaných dat lze popsat mineralogické složení těchto hornin a jejich geochemii.

2. PŘEHLED GEOLOGIE STŘEDOČESKÉHO PLUTONICKÉHO KOMPLEXU A OKOLNÍCH JEDNOTEK

Středočeský plutonický komplex (SPK) je složité těleso batolitového charakteru spodnokarbonického stáří, které vystupuje v centrální části Českého masivu a zaujímá rozlohu cca 3200 km^2 (obr. 1). Je tvořeno různými typy hlubinných a žilných hornin variabilního složení od acidních po bazické a od vápenatoalkalických po ultradraselné (přehled geologie, geochemie a rozsáhlý seznam starších prací viz Holub et al., 1997a). Objevují se zde i reliky svrchnoproterozoických až devonských sedimentů a vulkanitů v podobě kontaktně metamorfovaného pláště plutonu (tzv. metamorfované ostrovy). Těleso středočeského plutonického komplexu s mnoha apofýzami má v mapě protáhlý tvar SV-JZ směru a sahá od Říčan až po Klatovy. Rozkládá se na rozhraní dvou velkých geologických jednotek: tepelsko-barrandienské a moldanubické.



Obr.1. Schematická geologická mapa zobrazující pozici Českého masivu v rámci evropských variscid a pozici středočeského plutonického komplexu v centrální části Českého masivu na rozhraní tepelsko-barrandienské a moldanubické jednotky.

2.1. Geologie okolních jednotek

2.1.1. Tepelsko-barrandienská oblast

Tepelsko-barrandienská oblast je nemetamorfovaná až velmi slabě metamorfovaná jednotka vystupující podél sz. okraje středočeského plutonického komplexu. V blízkosti kontaktu s SPK sestává z neoproterozoických hornin reprezentovaných vulkanosedimentárními sedy kralupsko-zbraslavské skupiny na které konkordantně nasedají klastické sedimenty štěchovické skupiny (Kříbek, 2000). Kralupsko-zbraslavská skupina je tvořena hlavně hojnými vulkanickými a vulkanosedimentárními horninami, převážně bazalty a metabazalty složení podobného magmatitům středooceanských hřbetů (MORB). V mladších pruzích vulkanitů této skupiny jsou zastoupeny i alkalické vulkanity a v pražském okolí pak intermediální a kyselé typy. Nadložní sedimenty štěchovické skupiny jsou rytmicky se střídající šedé prachovité a jílové břidlice, prachovce a droby, s polohami slepenců (dobříšské slepence), často s dobře vyvinutým gradačním zvrstvením, proudovými stopami a jinými znaky typickými pro relativně hlubokovodní sedimentaci flyšového rázu (Chlupáč 2002). Sedimenty štěchovické skupiny indikují změnu tektonického režimu a byly ukládány jako turbiditní a gravitační proudy v zaobloukové pánvi při subdukci na s. okraji Gondwany při hranici prekambria a kambria. (Drost et al., 2004).

2.1.2. Moldanubikum

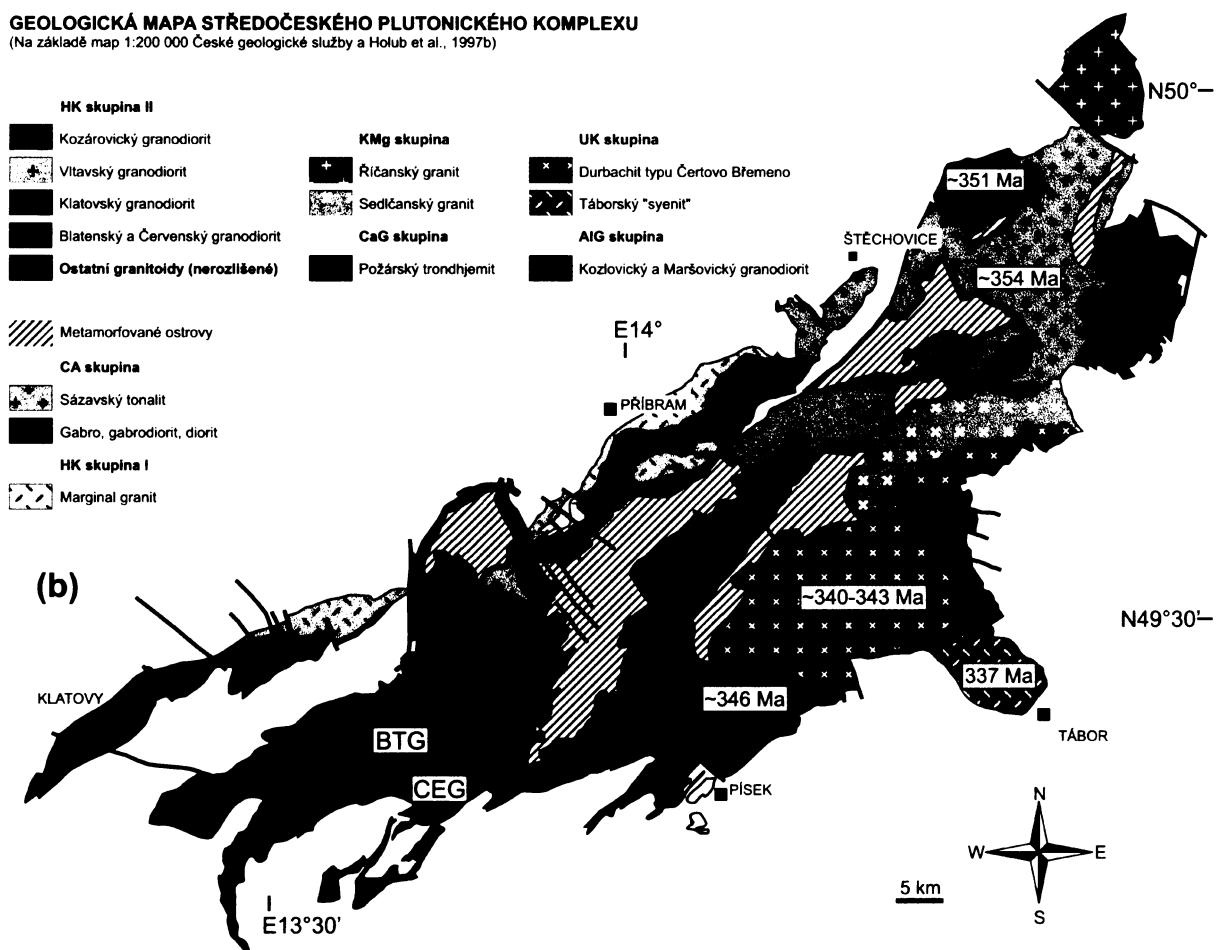
Moldanubikum, jež přiléhá k SPK z jv., se vyznačuje mnohem vyšším stupněm metamorfózy, inverzní vnitřní metamorfí stavbou a od podloží do nadloží se dělí na 3 litotektonické jednotky: ostrongskou (monotónní skupina), drosendorfskou (pestrá skupina) a gföhlskou. Gföhlská jednotka sestávající z granulitů, migmatitů a ortorul byla považována za součást pestré skupiny nebo za samostatnou litostratigrafickou jednotku (Zoubek, 1988). Monotónní a pestrá skupina se od sebe liší charakterem původních sedimentárních hornin, ze kterých vznikly. Horniny monotónní skupiny vznikly z hlubokomořských sedimentů, převážně pelitů, zatímco metamorfity pestré skupiny vznikly z pestrých sedimentárních a vulkanických hornin, které nasvědčují mělkovodnímu charakteru původní sedimentace. Monotónní skupina je charakterizována různými typy pararul (biotit-muskovitické, biotitové, sillimanit-biotitové a někdy cordierit-biotitové), v některých oblastech jsou silně migmatitizovány. Pestrá skupina je tvořena podobnými pararulami, doplněnými vložkami jiných metamorfovaných hornin, převážně metakvarcitů, grafitových metakvarcitů, grafitových rul, erlanů, skarnů, granulitů, amfibolitů a mramorů.

2.2. Geologie středočeského plutonického komplexu

2.2.1. Geochemická klasifikace hornin středočeského plutonického komplexu

Středočeský plutonický komplex lze členit na několik dílčích intruzivních jednotek (obr. 2) podle různých kritérií. Hlavními typy hornin z petrologického hlediska jsou zde gabry až amfibolity, biotit-amfibolické tonality a převládající amfibol-biotitické melasyenity (durbachity) až melagranity a biotit-pyroksenové melasyenity, leukogranity a další variety (Holub, 1997a,b).

GEOLOGICKÁ MAPA STŘEDOČESKÉHO PLUTONICKÉHO KOMPLEXU
(Na základě map 1:200 000 České geologické služby a Holub et al., 1997b)

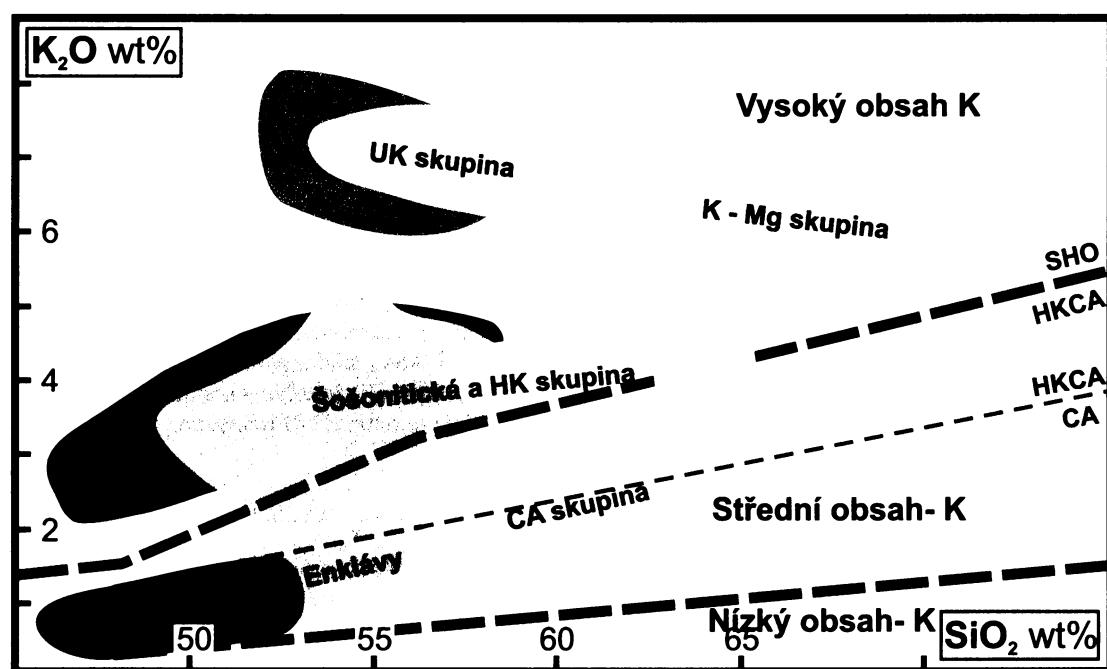


Obr. 2. Přehledná geologická mapa středočeského plutonického komplexu zobrazující hlavní intruzivní jednotky, horninové typy a jejich zařazení do geochemických skupin (podle Holuba et al., 1997a). BTG – blatenský granodiorit, CEG – červenský granodiorit.

Na základě geochemických dat se dají horniny rozdělit do 6-7 skupin (Holub, 1997a) (obr. 3): (i) CA – vápenatoalkalická skupina zahrnující amfibolická gabry až biotit-amfibolické tonality a granodiority sázavského typu; (ii) HK – draslíkem bohatá skupina amfibol-biotitických granitoidů typu červenského, kozárovického, blatenského, těchnického a

pravděpodobně jiných; (iii) UK – ultradraselná skupina amfibol-biotitických a biotit-pyroxenických melasyenitoidů až melagranitoidů typu Čertovo břemeno a táborského; (iv) KMg – skupina kyselejších granitů bohatých draslíkem a hořčíkem typu zbonínského, sedlčanského a říčanského; (v) AlG – peraluminické granodiority typu maršovického, kozlovičkého a Kosovy Hory; (vi) CaG – skupina vápníkem bohatých a draslíkem chudých acidních biotitických granitoidů až trondhjemitů typu požárského a nečínského. (vii) Sedmou skupinou byly početné žíly a masivky leukogranitů (LG).

Podle Janouška (1995, 2000) se dají horniny geochemicky dělit na 5 hlavních suit: sázavská, blatná, maršovická, říčanská a suita Čertova břemena. Jednotlivé suity jsou vymezovány na základě petrografie a obsahů chemických prvků, přičemž sázavská suita je současně nejstarší a nejprimitivnější a říčanská suita nejmladší a nejvyvinutější.



Obr. 3. Variační diagram K_2O ku SiO_2 (wt. %) pro plutonity středočeského plutonického komplexu. (podle Holuba et al., 1997a).

2.2.2. Radiometrická stáří hornin SPK

Další z geochemických metod, které byly použity při studiu SPK, jsou různé geochronologické metody pro určování absolutního stáří hornin, např. U-Pb na zirkonech nebo ^{40}Ar - ^{39}Ar a Rb-Sr na biotitech. Z geochronologických studií vyplývá, že mezi nejstarší plutonické horniny SPK lze řadit silně deformované, tzv. mirotické ortoruly (neuvedeny v tab.1), jejichž stáří bylo stanoveno metodou U-Pb na zirkonech na ~ 370 Ma (Košler, 1993) a metodami Rb-Sr a ^{40}Ar - ^{39}Ar na biotitech na ~ 338 - 331 Ma (Košler, 1995). Hlavní



plutonická aktivita v oblasti SPK je přesně vymezena intervalm mezi 354 Ma a 337 Ma (Janoušek a Gerdes, 2003) což jsou stáří sázavského tonalitu (nejstarší intruze SPK) a táborského syenitu (nejmladší intruze SPK). Existující radiometrická datování pro jednotlivé druhy hornin SPK jsou shrnuta v tabulce 1.

Geochemická skupina	Pluton	Datování	Intruze do
vysoce draselná vápenatoalkalická	okrajový		BARR
vápenatoalkalická až vysoce draselná vápenatoalkalická	Sázava	354,1±3,5 ^c 349±12 ^a	BARR
vápenatoalkalická	Požáry Nečín	351±11 ^a	Sázava BARR
vysoce draselná až šošonitická	Blatná	346±10 ^a	MOLD Sázava BARR
	Klatovy	349+6/-4 ^b	BARR MOLD
ultradraselná	Milevsko + menší intruze	343±6 ^a (341±7) ^a	Blatná Červená
	Tábor	336,6±1 ^c	MOLD
hořečnato-draselné granity (KMg)	Sedlčany		Vltava
	Říčany		BARR

Tab.1 Shrnutí existujících radiometrických stáří hornin SPK (upraveno podle Žák et al., 2005a).

BARR: barrandienské neoproterozoické a kambrické sedimenty podél sz. okraje CBPC; MOLD: vysoce metamorfované horniny moldanubika podél jv. až j. okraje CBPC. Zdroje geochronologických dat: ^aHolub et al. (1997b), metoda evaporace zirkonů (Pb-Pb); ^bDörr et al. (1998), konvenční U-Pb zirkonové datování; ^cJanoušek and Gerdes (2003) konvenční U-Pb zirkonové datování

2.2.3. Intruzivní sekvence a geotektonická interpretace

Na základě terénních vztahů jednotlivých typů hornin a radiometrických stáří je podle Holuba (1997a,b) nejstarší geochemickou skupinou v dané oblasti skupina CA, následuje HK a UK spolu s KMg a pravděpodobně i AlG, pozice CaG skupiny je zatím nejasná. Horniny CA skupiny odpovídají granitoidům vulkanických oblouků, přesto je jejich prekolizní vznik nepravděpodobný z důvodů chybějících intenzivních střížných deformací na hranici s moldanubikem. Oproti předešlé skupině hořčíkem bohatší horniny HK skupiny jsou starší než horniny UK a KMg, ale jsou již zřejmě závislé na režimu korové extenze, výzdvihu a dekomprese v moldanubika. Magmata skupin UK a KMg intrudovala později než předešlé typy a vyznačují se vysokými obsahy K, Rb, Cs, Th, a U, přesto mají ale charakter značně primitivních plášťových magmat. Světlejší členy posledních dvou skupin lze vysvětlit hybridizací acidních magmat pravděpodobně korového původu (Holub 1997a).

3. TEKTONICKÝ A STRUKTURNÍ VÝVOJ STŘEDOČESKÉHO PLUTONICKÉHO KOMPLEXU

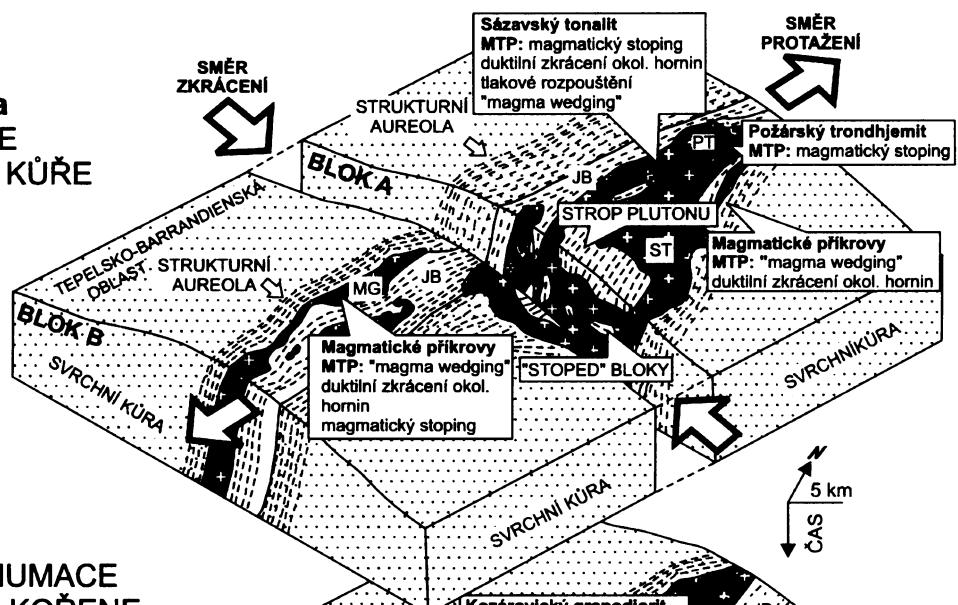
Strukturní vývoj SPK, vnitřní stavby, procesy vmístění ani vztahy k okolním jednotkám nebyly v této oblasti na rozdíl od geochemie, radiometrie, případně petrologie téměř studovány, přestože při znalosti absolutního stáří jednotlivých intruzí lze dešifrovat tektonický vývoj celého magmatického bloku.

3.1. Strukturní vývoj

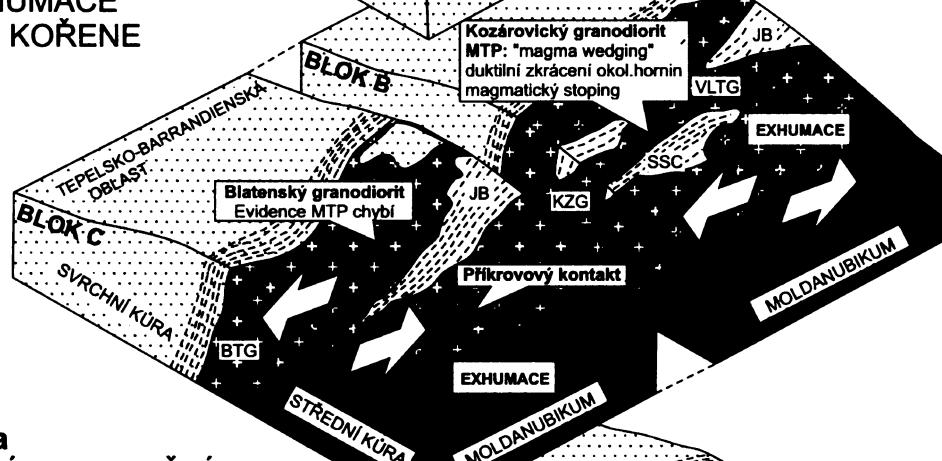
Středočeský plutonický komplex zahrnuje epizodicky vmisťované plutony, jejichž vnitřní stavba zachycuje tektonický vývoj kontinentálního magmatického oblouku (Žák et al., 2005a). Podle vzájemných vztahů, vnitřních staveb a geometrie lze vyčlenit 4 typy plutonů: (1) plutony vmístěné během regionální transprese (sázavský); (2) eliptické plutony s diskordantní vnitřní stavbou intrudující do sázavského plutonu (požárský a nečínský); (3) plutony vmístěné na počátku exhumace orogenního kořene (blatenský); (4) syn- až post-exhumační ultradraselné plutony (milevský a táborský). Na základě strukturních a terénních dat (Žák et al., 2005a), radiometrických dat (Holub, 1997b; Janoušek and Gerdés, 2003) a vztahů mezi jednotlivými plutony lze odvodit strukturní vývoj celého komplexu (Žák et al., 2005a) (obr. 4).

Nejstarší plutony (sázavský) typicky protáhlého či více nepravidelného tvaru intrudovaly během ~ 354 - 346 Ma. Došlo k syntektonickému vmístění plutonů během regionální transprese ve svrchní kůře. Tato \sim sv.-jz. směrem orientovaná transpresní zóna je spjata se \sim sz.-jv. směrem orientovaným zkrácením, má typické subvertikální \sim sv.-jz. foliace a subhorizontální lineace a byla z velké části časově shodná s vmisťováním plutonu. Podle Žáka (et al., 2005a) je regionální transpresní deformace umocňována tepelným změkčováním v aureolách plutonů. Magmatické až sub-solidové stavby těchto plutonů nesou známky regionální transprese a lokálního strainu během vmístění. Jako nejpravděpodobnější mechanismus vmístění se zde jeví duktilní zkrácení okolních hornin poznamenaných tlakovým rozpouštěním a magmatický stoping. Ten dokazují až kilometrové bloky hornin a diskordantní intruzivní kontakty ostře sekající okolní horniny.

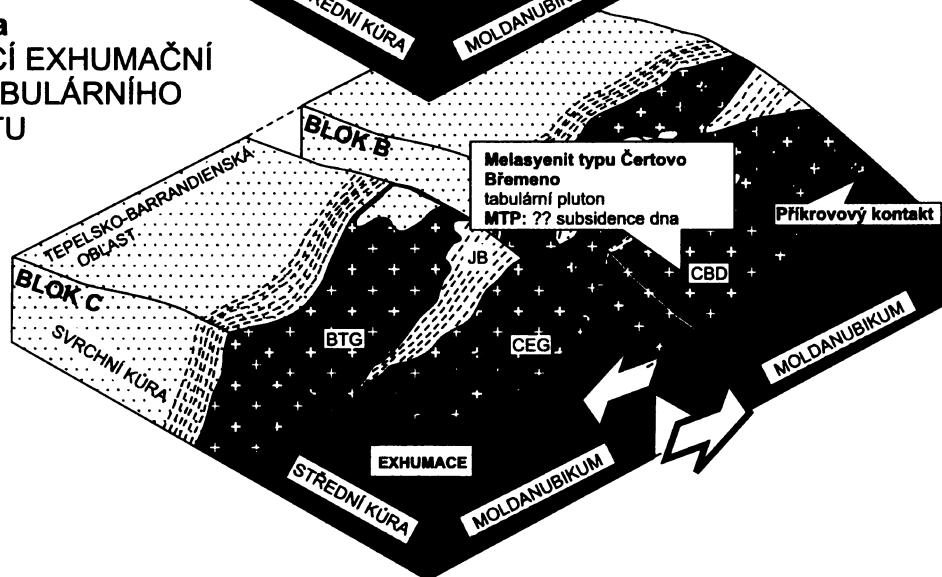
**~354 - 346 Ma
TRANSPRESE
VE SVRCHNÍ KŮŘE**



**~346 Ma
NÁSTUP EXHUMACE
OROGENÍHO KOŘENE**



**~343 - 340 Ma
POKRAČUJÍCÍ EXHUMAČNÍ
VMÍSTĚNÍ TABULÁRNÍHO
MELASYENITU**



Obr 4. Schematický interpretační blokdiagram ukazující strukturní vývoj SPK a přilehlých jednotek během spodního karbonu (podle Žáka et al. 2005a). BTG – blatenský granodiorit, CEG – červenský granodiorit, CBD – durbachit typu Čertovo břemeno, JB – jílovské pásma, KZG – kozárovický granodiorit, MG – okrajový granodiorit, SSC – starosedelský komplex, ST – sázavský tonalit, VLTG – vltavský granodiorit, MTP – procesy transferu materiálu.

Po vmístění výše uvedených vápenatoalkalických plutonů intrudoval ~ 346 Ma vysoce draselný, nepravidelně tvarovaný blatenský pluton. Kontrastní magmatické až subsolidové stavby jsou v něm zachovány v jeho sz. a jv. části. Magmatické stavby v s. části korespondují se stavbami starších plutonů, což napovídá o stejném transpresním režimu. Naproti tomu v jv. části plutonu již tyto stavby nejsou patrné a objevují se extenzní až subsolidové stavby asociované s poklesovou kinematikou, což nasvědčuje nástupu exhumace orogenního kořene (moldanubika). Jediným důkazem pro tuto teorii mohou být zóny podél jv. okraje komplexu, kde se střídají tenké žily granitoidů s okolními horninami, s poklesovou kinematikou. Při vmístování se zřejmě v sz. části uplatnilo duktilní zkrácení spolu s tlakovým rozpouštěním okolních hornin a magmatický stoping, na jz. okraji jsou zmíněné „žilné“ komplexy v poklesové střížné zóně (Žák et al., 2005a).

Poslední z hlavních intruzivních událostí je vmístění syn- až post-exhumačních ultradraselných syenitoidních až granitoidních plutonů. V intervalu ~ 343-340 Ma intrudoval durbachitový milevský pluton v podobě tabulárního tělesa (Dobeš a Pokorný, 1988) do svrchní části plutonického komplexu. Tento pluton zahrnuje hlavní těleso sv. – jz. směru a několik menších oddělených intruzí. Magmatické stavby jsou strmé, paralelní se z. okrajem, v centrální části tělesa ploché, což je interpretováno jako důsledek regionální extenze a exhumace moldanubika (Žák et al., 2005a). Mechanismus vmístění plutonu je v tomto případě nejasný, může jít částečně o subsidenci dna plutonu.

Magmatické stavby ~ 337 Ma starého táborského plutonu jsou diskordantní k metamorfním až subsolidovým foliacím moldanubika a nejsou ovlivněny subsolidovou deformací podél jv. okraje středočeského plutonického komplexu. Jedná se tudíž o pluton posttektonický.

3.1.1. Shrnutí mechanismů vmístění a magmatických staveb

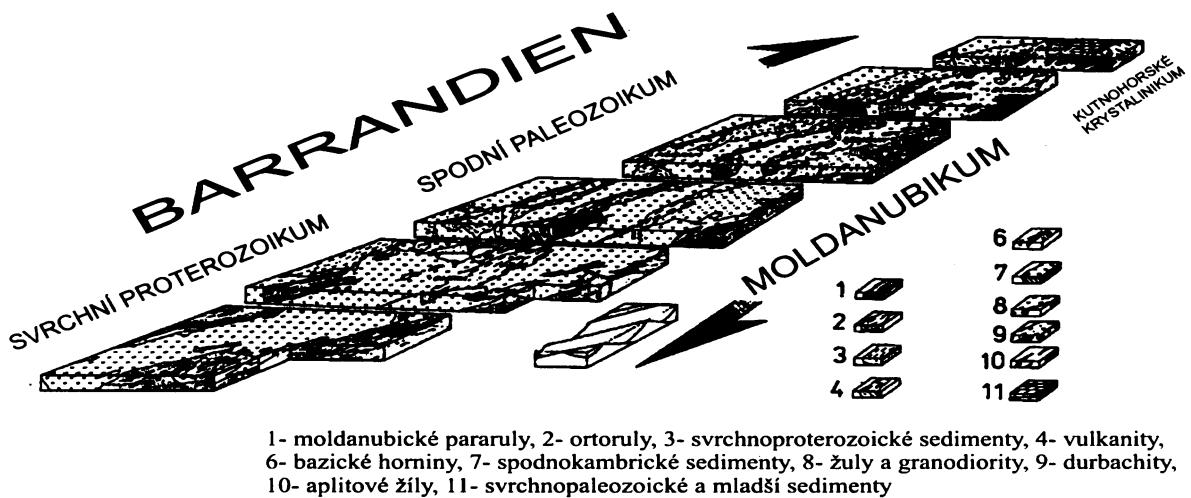
Na vmístování jednotlivých plutonů se podílely různé kombinace celé řady intruzivních mechanismů, které se mění v čase i v rámci jednoho tělesa. Velký význam měl především magmatický stoping (Žák et al., 2006), který spolu s pozdními magmatickými stavbami velmi běžně zastíral ostatní evidence vmístění. Vnitřní stavby v plutonech velmi dobře zaznamenávají přírůstky regionální tektonické deformace, přičemž starší intruzivní stavby jsou zachovávány pouze lokálně.

3.2. Implikace pro vztah tepelsko-barrandienské a moldanubické jednotky

Hranice těchto dvou geologických jednotek je jedna z nejdůležitějších oblastí (rozhraní) v Českém masívu. Vnitřní stavby středočeského plutonického komplexu jsou tudíž

klíčové pro pochopení a řešení mechanismu a datování vzájemné pozice tepelsko–barrandienské oblasti a moldanubika. Publikované práce na toto téma jsou nejednotné a často velmi kontroverzní.

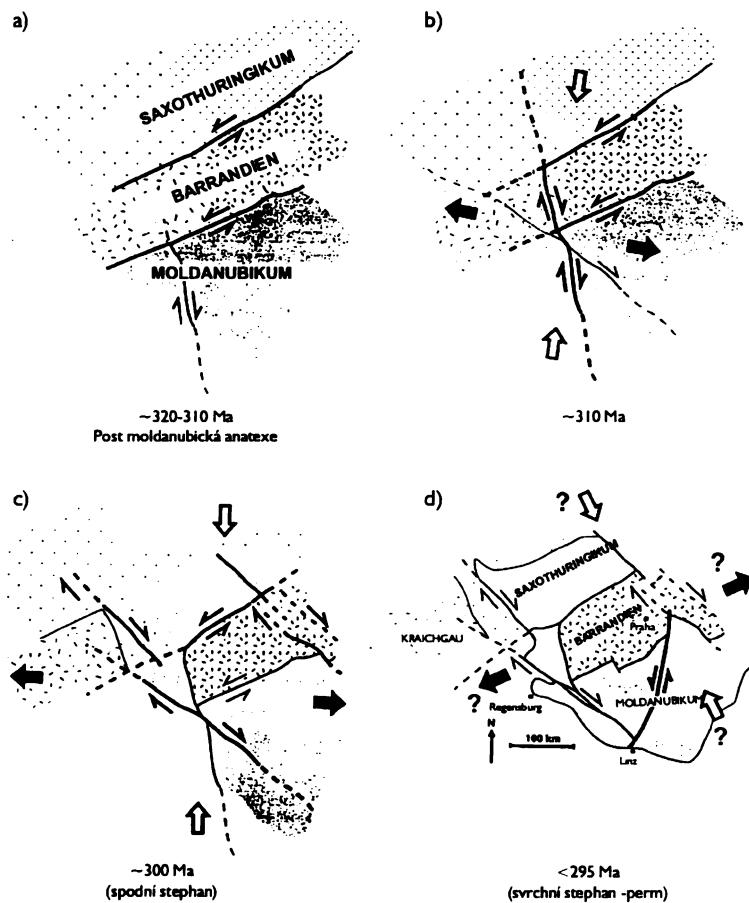
Např. Rajlich (1993) předpokládá mezi tepelsko-barrandienskou a moldanubickou jednotkou rozsáhlou transpresní střížnou zónu („středočeská smyková zóna“) a v místo ování granitoidů SPK do pull-apartové domény s dextrální střížnou kinematikou (obr. 5).



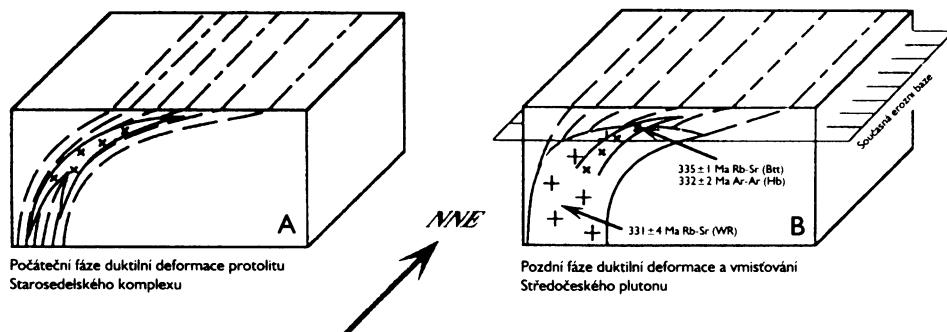
Obr 5. Blokdiagram středočeské smykové zóny s intruzí středočeského plutonu jako struktury typu pull-apart v dextrálním smyku (podle Rajlucha 1993).

Pitra (1999), podobně jako Rajlich (1993), interpretoval vzájemnou pozici jednotek jako výsledek rozsáhlých horizontálních posunů, přičemž barrandienský blok byl transportován do své současné pozice podél „středočeské střížné zóny“ v době ~ 320-310 Ma (obr. 6). Košler (1995) interpretoval (bez prezentace jakýchkoliv strukturních dat) duktilní deformaci ortorul metamorfovaného pláště plutonu a v místě SPK jako kontrolovanou násunovou zónou s „flat-ramp“ geometrií (obr. 7). Scheuvens a Zulauf (2000) interpretovali vzájemnou pozici obou jednotek jako výsledek exhumace moldanubika a granitoidů z různých hloubek podél hypotetického poklesového zlomu v klatovské apofýze. Nejnovejší model Žáka (et al., 2005a) předpokládá podobný mechanismus jako Scheuvens a Zulauf (2000). Podle této práce indikují intruzivní kontakty mezi jednotlivými plutony SPK přibližně stejnou hloubku v místě a kontrastní strukturní vývoj sz. a jz. okraje SPK je interpretován jako výsledek různých procesů operujících v různém čase a na různém místě. Vzájemná pozice tepelsko–barrandienské oblasti a moldanubika je uvažována jako výsledek nejprve regionální transprese ve svrchní kůře (>346 Ma) a následné exhumace moldanubika (346 – 337 Ma). „Středočeská střížná zóna“ je shodná s překrývajícími se strukturními aureolami jednotlivých

plutonů SPK, kdy teplota směrem k okrajům plutonů spolu s rostoucí intenzitou deformace narůstá. Koncept „středočeské střížné zóny“ tak mísi dohromady různé procesy: transprese, termální a mechanický efekt vnitřního plutonu, a exhumace moldanubika akomodované širokou zónou deformace.



Obr. 6. Schéma tektonického vývoje v závěrečných fázích variského vrásnění. Velké bílé šipky indikují hlavní směry komprese, velké černé šipky reprezentují hlavní extenzi (podle Pitry 1999).



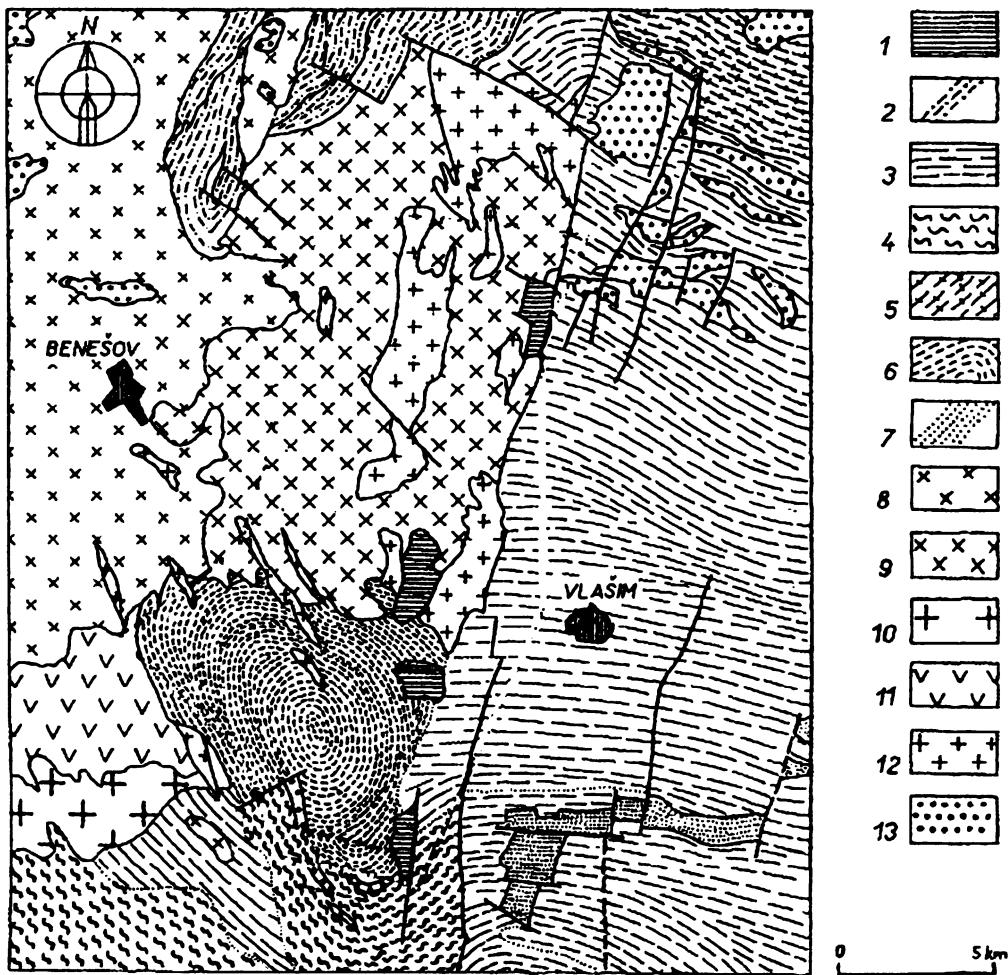
Obr. 7. Diagram znázorňující vnitřní SPK jako kontrolovanou násunovou zónou s „flat-ramp“ geometrií (podle Košlera 1995).

4. PŘEHLED GEOLOGIE VÝCHODNÍHO OKRAJE STŘEDOČESKÉHO PLUTONICKÉHO KOMPLEXU

4.1. Geologická pozice a kontakty

Východním okrajem středočeského plutonického komplexu se rozumí jeho část tvořená převážně granodioritem tzv. „benešovského typu“ (obr. 8). V mapě má toto těleso mírně protáhlý tvar ssv.-jjz. směru a sahá od Chocerad po Postupice a od Benešova po Divišov. Benešovským typem se označuje drobně až středně zrnitý biotitický, amfibol-biotitický až amfibolický granit, granodiorit až křemenný diorit s muskovit-biotitickým až biotitickým kataklastickým křemenným dioritem až granodioritem, prostoupeným drobnými granitoidními žilkami, menšími tělesy pararul, migmatitů a amfibolitů. Běžným fenoménem hornin v této oblasti je silná duktilní až křehká deformace, což má v mikroskopickém měřítku za následek téměř kompletní rekrytalizaci křemene a křehké porušení pevnějších zrn živců (Kachlík, 1990). Těleso se nachází na kontaktu tří významných geologických jednotek Českého masivu: moldanubika s.s., kutnohorského krystalinika a tepelsko-barrandienské zóny.

S moldanubikem se studovaná oblast stýká na svém jižním a východním okraji, kontakt je převážně tektonického charakteru, na východě je tvořen zlomy ssv.-jjz. směru, na jihu je kontakt s tzv. popovickým komplexem szz.-jvv. směru. V severovýchodní části hraničí benešovský granodiorit (BG) podél zlomů s kutnohorsko-svratskou oblastí, respektive s kutnohorským krystalinikem. Na severu je kontakt s tepelsko-barrandienskou oblastí dosti komplikovaný. Jedná se o tektonický kontakt, na zlomech sz.-jv. směru postihujících severní okraj dochází k evidentním horizontálním posunům (geologická mapa ČR, 1:50000, 13-31 Říčany). Velká část tohoto kontaktu je však zakryta mladšími klastickými sedimenty permokarbonu. Téměř celý západní okraj BG tvoří hranice se sázavským tonalitem, jedním z plutonů středočeského plutonického komplexu. Kontakt obou jednotek je špatně odkrytý, pravděpodobně intruzivní. Na severozápadě se BG stýká s metamorfovanými ostrovy tzv. ostrovní zóny řazené k tepelsko-barrandienské oblasti. Horniny těchto metamorfovaných ostrovů byly po intruzi benešovského granodioritu kontaktně metamorfovány a spočívají v jeho nadloží jako pláště. Ostrovy mají přibližně ssv.-jjz. směr protažení (geologická mapa ČR, 1:50000, 13-33 Benešov).



Obr. 8. Přehledná geologická mapa Benešovska (podle Žežulkové 1970). 1 – sedimenty permokarbonu, 2 – possilitové fyllity, 3 – pararulová série, 4 – migmatitizované pararuly, 5 – perlové ruly, 6 – migmatity ortorulového vzhledu, 7 – dvojslídne ortoruly, 8 – granodiorit sázavského typu, 9 – granodiorit benešovského typu, 10 – granodiorit sedlčanského typu, 11 – granit typu Čertovo břemeno, 12 – leukokrátní žilné granite, 13 – amfibolity.

4.2. Charakteristika okolních jednotek

(i) Moldanubikum. Celková charakteristika moldanubika je uvedena výše v textu, v okolí kontaktu s benešovským granodioritem se vyskytují horniny monotónní i pestré skupiny. (Pestrou skupinu zde reprezentují horniny šternbersko-čáslavské oblasti). Jedná se především o muskovit-biotitické pararuly s vložkami amfibolitů a migmatitizované silimanit-biotitické pararuly. Tyto horniny jsou na mnoha místech migmatitizovány.

Kutnohorské krystalinikum leží v severním lemu moldanubika, vždy v nadloží moldanubika s.s. S ním sdílí struktury této jednotky mnoho společných znaků, a proto je některými autory k moldanubiku celá oblast řazena, liší se však nižším stupněm metamorfózy. Na S je kutnohorské krystalinikum zčásti překryto sedimenty české křídové pánve, na V je od svratecké části odděleno intruzí železnohorského plutonu a úzkým pruhem hornin hlinské

zóny, řazeným k tepelsko-barrandienské oblasti. Od strukturního podloží do nadloží lze vyčlenit horniny ratajské svorové zóny, kouřimskou ortorulu se svým migmatitovým pláštěm a gföhlskou jednotku. Součástí hornin svorové zóny jsou vložky amfibolitů, erlánů a vápenců, na kouřimskou ortorulu jsou vázána tělesa magnetitových skarnů (Kachlík, 2003). V oblasti kontaktu s benešovským granodioritem vystupují horniny svorové zóny, jmenovitě dvojslídne svory až muskovit-biotitické pararuly (geologická mapa ČR, 1:50000, 13-33 Benešov).

(ii) Sázavský tonalit. Variský, vápenato-alkalický sázavský tonalit reprezentuje jeden z nejstarších plutonů středočeského plutonického komplexu vmístěný během regionální transprese. Typickými horninami v oblasti kontaktu i v celém tělese je biotiticko-amfibolický tonalit sázavského typu.

(iii) Tepelsko-barrandienská oblast. Tepelsko-barrandienská oblast je charakterizována rovněž výše v textu. Na kontaktu s benešovským granodioritem vystupují horniny kralupsko-zbraslavské skupiny, její amfibolické fylitické břidlice, fylitické droby a fylitické černé břidlice. Původní spodnopaleozoické až devonské vulkanosedimentární sekvence byly kontaktně metamorfovány v průběhu intruze jednotlivých plutonů SPK. Navzdory redukované mocnosti a absenci (stále nejisté) kambria je litologie spodnopaleozoických sedimentů ostrovní zóny podobná barrandienu, s určitými výjimkami, jako je přítomnost kvarcitových a křemenných konglomerátů spodno až střednodevonského stáří, které nemají v pražské pánvi barrandienu žádné ekvivalenty (Holub, 1997a).

4.3. Geochemie benešovského granodioritu

V důsledku malé prozkoumanosti benešovského granodioritu vycházejí geochemická data pouze z jedné starší publikace. Podle chemických analýz několika vzorků (Žežulková, 1970) odpovídají „benešovské granodiority“ granitům, granodioritům a křemenným dioritům s přechody k syenitům. Od čistých granodioritů a křemenných dioritů se odlišují většími hodnotami alkalií, draslíku a křemíku.

Při sledování obsahů stopových prvků v horninách benešovského granodioritu, moldanubických hornin a některých granitoidů středočeského plutonického komplexu byly použity analýzy prvků obsažených v biotitech těchto hornin. Biotit je v tomto směru nevhodnějším minerálem, protože se vyskytuje prakticky ve všech uvedených horninách a ve srovnání s jinými minerály obsahuje největší množství stopových prvků. V biotitech vyseparovaných z různých typů porovnávaných hornin byly spektrálně zjištěny Si, Al, Fe, Mg, Ti,Ca, Na, K, Mn, Li, V, Ni, Cr, Ba, Ga, Cu, Zn, Be, Co, Pb, Sr, Mo, B, Sn, Yb a Sc. Obecně vyplývá přímá závislost mezi snížením obsahu biotitu v horninách a snížením obsahu

stopových prvků v něm. Obsahy stopových prvků benešovského granodioritu vyšly řádově vyšší než u okolních moldanubických hornin i plutonických hornin SPK.

Akcesorické minerály jsou v granodioritech benešovského typu zastoupeny apatitem, titanitem, monazitem, zirkonem orthitem a granátem. Z rudních minerálů se však kromě pyritu a magnetitu vyskytuje i titanomagnetit. Specifické jsou v těchto horninách časté shluky akcesorických minerálů, zvláště apatitu. Ten navíc spolu s monazitem a orthitem tvoří typické pleochroické dvůrky v biotitu, zirkony jsou často zonární.

5. ZÁVĚR A NÁSTIN BUDOUCÍHO VÝZKUMU

Studium existující literatury ukázalo, že v případě benešovského granodioritu se jedná o jednotku velmi málo prozkoumanou, zejména ze strukturního a tektonického hlediska. Jelikož se tato oblast nachází na kontaktu tří geologických jednotek, je její studium klíčové pro porozumění tektonomagmatického vývoje celého východního okraje středočeského plutonického komplexu a pro pochopení mechanismu a časového vývoje sblížení tří velkých geologických jednotek v Českém masívu (tepelsko-barrandienské a moldanubické jednotky a kutnohorského krystalinika). Na základě shromážděných informací a předběžného terénního výzkumu je pravděpodobné, že tzv. „benešovský granodiorit“ zahrnuje několik různých dílčích intruzí, jejichž historie je však stejně jako původ četných žil leukogranitů neznámá. Z vlastního předběžného výzkumu také vyplývá, že kontakty jednotek uvedené v geologických mapách nevždy korespondují s terénními pozorováními.

Objasnění těchto problémů a celkové detailní zpracování oblasti by mělo být předmětem výzkumu v rámci mé diplomové práce plánované na následující dva roky (2006-2008). Hlavním zaměřením a klíčovými cíli tohoto výzkumu bude:

- Detailní strukturní analýza benešovského granodioritu a okolních jednotek
- Analýza vnitřních staveb granitoidů metodou anizotropie magnetické susceptibility (AMS)
- Analýza křehké deformace a zlomů, výpočet paleonapětí na zlomech
- Mikrostrukturní vývoj a deformační mechanismy
- Interpretace strukturního vývoje, sukcese magmatických a deformačních událostí
- Vytvoření modelu magmatického a tektonického vývoje východního okraje SPK
- Širší interpretace vztahů studované oblasti k transpresní deformaci středočeského plutonického komplexu, exhumaci moldanubika, a pozdní zlomové tektonice, implikace pro vývoj kontaktu mezi moldanubikem a tepelsko-barrandienskou jednotkou

6. SEZNAM LITERATURY

- Dobeš M., Pokorný L., 1988. Gravimetry applied to the interpretation of the morphology of the Čertovo břemeno durbachite body in the Central Bohemian Pluton. *Věstník Ústředního ústavu geologického* 63:129–135
- Dörr W., Zulauf G., Fiala J., Franke W., Haack U., Philippe S., Schastok J., Scheuvens D., Vejnar Z., Wulf S., 1998. Cambrian transtensional and Variscan normal fault related plutons: Tectonothermal evolution within the Teplá-Barrandian (Bohemian Massif, Czech Republic). *Terra Nostra* 98: 42–46
- Drost K., Linnemann U., McNaughton N., Fatka O., Kraft P., Gehmlich M., Tonk Ch., Marek J., 2004. New data on the Neoproterozoic – Cambrian geotectonic setting of the Teplá-Barrandien volcano-sedimentary successions: geochemistry, U-Pb zircon ages, and provenance (Bohemian Massif, Czech Republic). *International Journal of Earth Sciences* 93: 742-757
- Holub F.V., Machart J., Manová M., 1997a. The Central Bohemian Plutonic Complex: Geology, chemical composition and genetic interpretation. *Sborník geologických věd* 31: 27-50
- Holub, F.V., Cocherie, A., Rossi, P., 1997b. Radiometric dating of granitic rocks from the Central Bohemian Plutonic Complex (Czech Republic): constraints on the chronology of thermal and tectonic events along the Moldanubian-Barrandian Boundary. *Comptes Rendus de l'Academie des Sciences - Series IIA - Earth and Planetary Science* 325: 19-26.
- Chlupáč I., Brzobohatý R., Kovanda J., Stráník Z., 2002. *Geologická minulost České Republiky*. Academia, Praha: 436 str.
- Janoušek V., Rogers G., Bowes D.R., 1995. Sr-Nd isotopic constraints on the petrogenesis of the Central Bohemian Pluton, Czech Republic. *Geologische Rundschau* 84: 520-534
- Janoušek V., Bowes D.R., Rogers G., Farrow C.M., Jelínek E., 2000. Modelling diverse processes in the petrogenesis of a composite batholith: the Central Bohemian Pluton, Central European Hercynides. *Journal of Petrology* 41: 511-543
- Janoušek V., Gerdes A., 2003. Timing the magmatic activity within the Central Bohemian Pluton, Czech Republic: conventional U-Pb ages for the Sázava and Tábor intrusions and their geotectonic significance. *Journal of the Czech Geological Society* 48: 70–71

- Kachlík V., 1999. Relationship between Moldanubicum, the Kutná Hora Crystalline Unit and Bohemicum (Central Bohemia, Czech Republic): a result of the polyphase Variscan nappe tectonics. *Journal of the Czech Geological Society* 44: 1-229
- Kachlík V., 2003. Geologický vývoj území České republiky. SÚRAO, Praha, 64 str.
- Košler J., Aftalion M., Bowes D.R., 1993. Mid-late Devonian plutonic activity in the Bohemian Massif: U-Pb zircon isotopic evidence from the Staré Sedlo and Mirotice gneiss complexes, Czech Republic. *Neues Jahrbuch für Mineralogie* 1993: 417–431
- Košler J., Rogers G., Roddick J.C., Bowes D.R., 1995. Temporal association of ductile deformation and granitic plutonism: Rb-Sr and ^{40}Ar - ^{39}Ar isotopic evidence from roof pendants above the Central Bohemian Pluton, Czech Republic. *Journal of Geology* 103: 711-717
- Kříbek B., Pouba Z., Skoček V., Waldhausrová J., 2000. Neoproterozoic of the Teplá-Barrandian Unit as a part of the Cadomian orogenic belt: a review and correlation aspects. *Bulletin of Geosciences* 75: 175-194
- Pitra P., Burg J.P., Guiraud M., 1999. Late Variscan strike-slip tectonics between the Teplá-Barrandian and Moldanubian terranes (Czech Bohemian Massif): petrostructural evidence. *Journal of the Geological Society, London* 156: 1003–1020
- Rajlich P., 1993. Variscan ductile tectonics of the Bohemian Massif. *Czech Geological Survey, Praha*, 171 str.
- Scheuvens D., Zulauf G., 2000. Exhumation, strain localization, and emplacement of granitoids along the western part of the Central Bohemian shear zone (Bohemian Massif). *International Journal of Earth Sciences* 89: 617-630
- Zoubek V., Cogné J., Kozhoukharov D., Kraütner H.G., 1988. Precambrian in younger fold belts. Wiley Interscience Publication, Chichester, 885 str.
- Žák J., Schulmann K., Hrouda F., 2005. Multiple magmatic fabrics in the Sázava pluton (Bohemian Massif, Czech Republic): a result of superposition of wrench-dominated regional transpression of final emplacement. *Journal of Structural Geology* 27: 805-822
- Žák J., Holub F.V., Verner K., 2005. Tectonic evolution of a continental magmatic arc from transpression in the upper crust to exhumation of mid-crustal orogenic root recorded by episodically emplaced plutons: the Central Bohemian Plutonic Complex (Bohemian Massif). *International Journal of Earth Sciences* 94: 385-400
- Žák J., Holub F.V., Kachlík V., 2006. Magmatic stoping as an important emplacement mechanism of Variscan plutons: evidence from roof pendants of the Central Bohemian Plutonic Complex (Bohemian Massif). *International Journal of Earth Sciences*, in press.

Žežulková V., 1971. Ke genezi benešovského granodioritu. Sborník geologických věd G21:
37-81

