

1. Gravimetrie

Měření hustot (měrných hmotností) různých typů bazaltoidních neovulkanitů ukázala, že proti okolním geologickým jednotkám jde vždy o výrazná hustotní rozhraní umožňující jejich indikaci tíhovým měřením. K tomu je třeba splnit určité parametry měření jako je především vysoká přesnost měření, dostatečně malá vzdálenost mezi měřenými stanovišti a nepřiliš členitý reliéf terénu. Potom lze spolehlivě zachytit kladné tíhové účinky bazaltoidních vulkanitů a záporné účinky nad lehkými a dostatečně mocnými polohami pyroklastik a vulkanických brekcií vyplňujících přírodní komínové struktury nebo vytvářející další vulkanické formy (příkrovy apod). Publikované hustotní charakteristiky neovulkanitů i hornin okolního krystalinika a platformního pokryvu umožňují odvodit teoretické účinky různých modelů vulkanických forem.

Údaje o hustotách neovulkanitů publikovali ONDRA s HANÁKEM (1982). Podobně ucelené informace o hustotách vulkanitů obsahuje MALKOVSKÉHO monografie (1985) o severočeské terciární pánvi a okolí. Souhrnné údaje o hustotách hornin z oblastí neovulkanitů zpracovala M. Chlupáčová a další autoři v geofyzikální monografii IBR-MAJERA, SUKA et al. (1989).

Podle hustot se vyvřeliny neovulkanitů dělí zhruba do tří skupin. Nízkou hustotu mají fonolity a trachyty v rozmezí $2500\text{--}2600\text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Další skupina bezolivinických bazaltoidů vykazuje hustoty $2800\text{--}3000\text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Nejvyšší hodnoty $3000\text{--}3150\text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ jsou ve skupině olivinických bazických až ultrabazických vulkanitů.

Jestliže však kyselé typy vulkanitů pronikly komplexy „těžkých“ hornin, potom se nad takovými vulkanity naměří záporné odchylky Δg (záporné reziduální anomálie tíže). V areálech granitoidů vzhledem k blízkým hustotám nemusejí kyselé vulkanity vyvolat měřitelné odchylky a pak výsledky nebývají jednoznačné. Z bazaltoidních vulkanitů jsou hustotní poměry téměř vždy příznivé pro vznik měřitelných kladných reziduálních anomálií. Limitující je jen dostatečný objem vulkanických objektů.

Ucelenou charakteristiku tíhového pole z oblasti České-

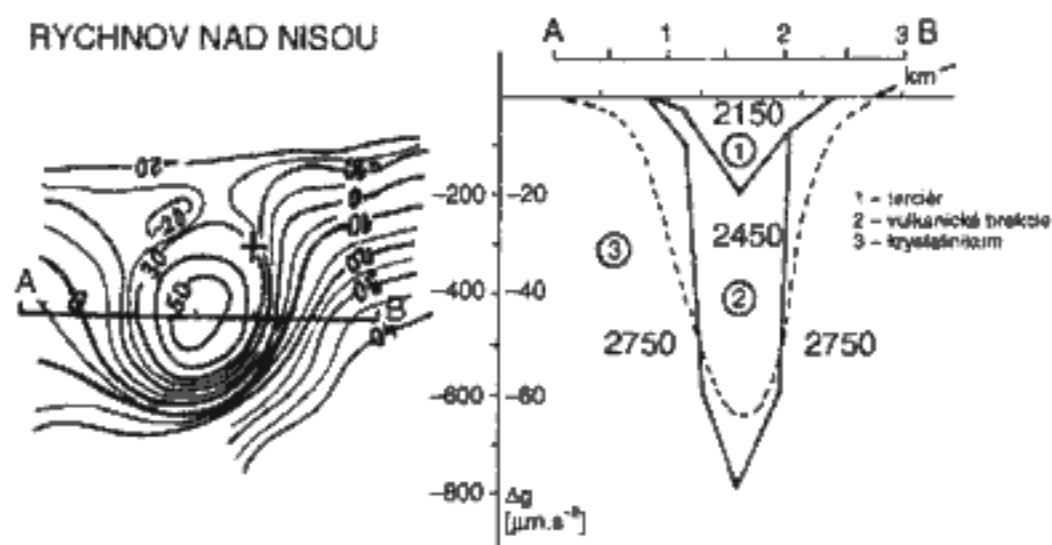
ho středohoří, Doupovských hor, severočeské pánve a okolních Krušných hor popsal ČUTA v MALKOVSKÉHO (1985) monografii. Vycházel z regionálních studií, zejména z prací POKORNÉHO et al. (1970) a Polanského (1973). Z regionálního tíhového obrazu jsou indikace neovulkanitů patrné jen v pánevní oblasti u Bílenců, Malého Března a Bylan v prodloužení střezovského zlomu a nepravidelné výskyty u Havraně a Blažimi. Jde vesměs o větší vulkanická centra dobře vymezená v aeromagnetickém obraze. Jsou zahrnutá do soupisu lokalit v příloho-
vé části práce.

K metodice vyhledávání drobných vulkanických center v krystaliniku přispěl zejména POLANSKÝ (1980), který vyzkoušel způsoby ověřování lokálních anomálií naznačených regionální gravimetrií v měřítku $1 : 25\,000$. V oblasti průzkumu cínové mineralizace na Jáchymovsku ověřoval lokální minima a v menší míře i maxima reziduálních anomálií tíže. Na takových anomáliích byla vzdálenost měřených stanovišť zahuštěna a bylo uskutečněno magnetické měření. Na vybraných anomáliích byly ještě proměřeny interpretační profily. Tak v oblasti jáchymovského krystalinika byla tíhovým měřením a magnetometrií indikována řada dosud geologicky neevidovaných vulkanických center, převážně rašeliny skrytých diatrem a vyplněných lehkými pyroklastiky a brekciemi. Méně byly zastoupeny diatremy s „těžkou“ bazaltoidní lávou a s vysokými hodnotami magnetické intenzity ΔT . Indikovaná vulkanická centra byla zakreslena do mapových schémat v příloho-
vé části monografie (listy M-33-50-D-acd). Na základě nově vymezených center vulkanismu mohla být v krystaliniku upřesněna zlomová tektonika a vymezeny některé nové zlomy.

Další metodicky významnou prací byla studie tíhového pole pseudotrachytové kaldery u Roztok n. Labem (MR-LINA 1986). Zde v poměrně velmi komplikovaných hustotních podmínkách se autor pokusil interpretovat model velkého vulkanického centra, rozsáhlé kaldery ve smyslu KOPECKÉHO (1987), vyplněné pseudotrachytovou brekcií (ve smyslu téhož autora), proniknou různými vulkanity od fonolitu až po essexit. Vzhledem k velkému objemu vulkanických brekcií se projevuje kaldera zápornou tíhovou anomálií. Z důkladného rozboru hustot hornin vystupujících na povrch byly Mrlinou vypracovány modely s předpokládanou intruzí karbonatitu v hloubce kolem 1000 m .

Zajímavé výsledky přinesla regionální gravimetrie pro zjištění velké vulkanické maarové struktury u Rychnova nad Nisou. Zde na reliktu neogénu byla zjištěna výrazná izometrická tíhová deprese. Výpočty ukázaly, že tuto anomálii nelze vysvětlit jen tektonicky zakleslou krou neogenních sedimentů. Na anomálii se podle autorů (SEDLÁK et al. 1985) podílí vulkanogenní struktura vyplněná lehkou vulkanickou brekcií. Hloubka kaldery (spíše maaru) s předpokládaným kruhovým tvarem byla vypočtena na 800 m (obr. 1).

Nejasná lokální záporná tíhová anomálie byla zjištěna podrobnějším tíhovým měřením v chebské pánvi sv. od obce Žirovice. Výraznou kruhovou tíhovou depresi – 4 mgl



Obr. 1. Geofyzikální indikace skryté diatremy (maaru) u Rychnova nad Nisou. Izolinie Δg ($\mu\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$). Kvantitativní interpretace tíhového profilu (SEDLÁK et al. 1985).

považují autoři za účinek poklesu dna neogenní pánve tvořeného smrčinským granitem (DOBEŠ et al. 1982). Žirovic-
ká kruhová tihová deprese však v tomto území s četnými
lokalitami neoidní vulkanické aktivity může být považová-
na spíše za účinek lehkých vulkanických brekcí v skryté
diatremě, podobně jak to bylo prokázáno na záporné ano-
málii u Rychnova nad Nisou.

Ukončením regionálního geofyzikálního výzkumu Kruš-
ných hor (POKORNÝ et al. 1966, 1970) se uzavřela důležitá
etapa, ve které byly prakticky vyzkoušeny možnosti po-
drobných tíhových měření při vyhledávání vulkanických
výskytnů v územích krystalinika. I drobná tělesa neovulka-
nitů vyvolávají reálné tíhové odchylky a za příznivých dal-
ších podmínek je tedy i gravimetrie dobře použitelná pro
výzkum neovulkanitů.

2. Geoelektrické metody

Na rozdíl od gravimetrie či magnetometrie nelze uvažovat
o geoelektrice jako jediné metodě, ale jde o celý soubor
metod, často pracujících na různých fyzikálních princi-
pech. Řada metod, zejména elektromagnetických již
zanikla a byla nahrazena metodami produktivnějšími a
geofyzikálně účinnějšími. Fyzikální základy a teorie geo-
elektrických metod používajících střídavý proud a varianty
elektromagnetické jsou často dosti obtížně srozumitelné
pro negeofyzika. Zájemce o hlubší poznání základů těchto
metod odkazují na vysokoškolskou učebnici MAREŠE et al.
(1984) v českém či anglickém jazyce.

Použití geoelektrických metod při výzkumu neovulka-
nitů umožňují rozdíly elektrických vlastností jak ve sro-
vnání magmatických hornin s doprovodnými vulkanickými
produkty, tak s horninami okolních geologických jednotek.
Všeobecně se masivní vulkanity projevují vyššími speci-
fickými odpory, než jaké mají sousedící horniny včetně je-
jich navětralých a rozpukaných partií. Jde běžně o řádové
rozdíly v hodnotách specifických odporů. Tyto velké roz-
díly se využívají při průzkumu bazaltoidního a trachytové-
ho kameniva.

Geoelektrické odporové profilování, nejčastěji v symet-
rickém a kombinovaném uspořádání, se používalo pro vy-
mezování kontur vulkanických těles, zvláště na lokalitách,
kde sutě a bloky magnetizovaných vulkanitů omezovaly
použití magnetometrie. Obě tyto metody při dostatečně po-
drobném kroku měření dávaly spolehlivé výsledky pro
ohraničení vulkanických těles skrytých pokrývnými útva-
ry. Další informace se získávaly aplikací vertikálního od-
porového sondování, zvláště při průzkumu kameniva
z vulkanických výskytnů. Geoelektrickou sondáží se určo-
valy mocnosti zvětralin a skrývky. Jsou to základní infor-
mace nutné při projektování těžby a při vyčleňování těži-
tečných bloků hornin v zakládaných či rozšiřujících se
lomech (ANDRES 1963).

Geoelektrické metody se aplikovaly pro průzkum kame-
niva hlavně v oblastech rozsáhlé neogenní vulkanické akti-
vity. Méně byly geoelektrické práce používány pro geo-
logické mapování neovulkanitů a pro hydrogeologické
účely. Při pracích tohoto zaměření bylo účelem konturovat
hlavně zbytky vulkanických příkrovů či samotné vulkanic-

ké přírodní aparáty. V oblastech tzv. „slitých vulkanitů“ se
určovala místa vhodná pro hydrogeologické jímací vrty či
geologické strukturní vrty, tedy místa bez výskytnů masiv-
ních vulkanitů. Dále v této práci často používaný termín
„slité vulkanity“ je převzatý od našeho významného vul-
kanologa FEDIUKA (2000), který tak ve zkratce označuje
rozsáhlejší území se souvislým nahromaděním vulkanitů
a tefry. I při úkolech hydrogeologického průzkumu se geo-
elektrické metody aplikovaly spolu s magnetometrií pro
zpřesnění interpretace. Jen samotné geoelektrické měření
bylo používáno ojediněle. Vedle nejvíce aplikovaného sy-
metrického profilování a mělkého vertikálního sondování
se jen zřídka používaly při průzkumu kameniva další geo-
elektrické metody. U elektromagnetických metod jako byl
tehdy do praxe zaváděný systém vapram, turam a další se
spíše řešila lineární tektonika, průběh žil, hydrotermálních
pásen apod. Rovněž metoda velmi dlouhých vln, náležejí-
cí mezi ekonomicky nejproduktivnější, se při průzkumu
kameniva příliš neuplatnila, částečně i proto, že její aplika-
ce nastává až v sedmdesátých letech 20. století, kdy byl již
ukončen hlavní objem průzkumných prací kameniva.

Nasazení geoelektrických metod při průzkumu neovul-
kanitů v České republice začalo poměrně pozdě. V prvních
letech rozvoje užití geofyziky po 2. světové válce se převa-
ha geofyzikální aktivity zaměřila na rudní průzkum a pro-
blematiku inženýrskogeologickou. Proto teprve začátkem
šedesátých let 20. století se objevují první geoelektrická a
geomagnetická měření na neovulkanitech.

V roce 1960 bylo geoelektricky zkoumáno předpolí lo-
mu na Vinařické hoře u Kladna s cílem pomoci rozšířit těž-
bu bazaltoidního kameniva (HRDLÍČKA 1960). Práce na
této lokalitě pokračovaly i v pozdějších letech symetric-
kým profilováním a vertikálním sondováním (BÁRTA
1968, 1970a). Je zajímavé, že zde nebyla s geoelektrikou
použita současně magnetometrie. Všechna další geofyzi-
kální měření zaměřená na průzkum kameniva téměř vždy
používala současně magnetometrii. Vzhledem k velkému
regionálnímu rozšíření neovulkanitů lze považovat objem
geofyzikálního průzkumu za poměrně malý. Většina těchto
prací se prováděla v období šedesátých let, kdy vrcholila
poptávka po kamenivu z neovulkanických hornin.

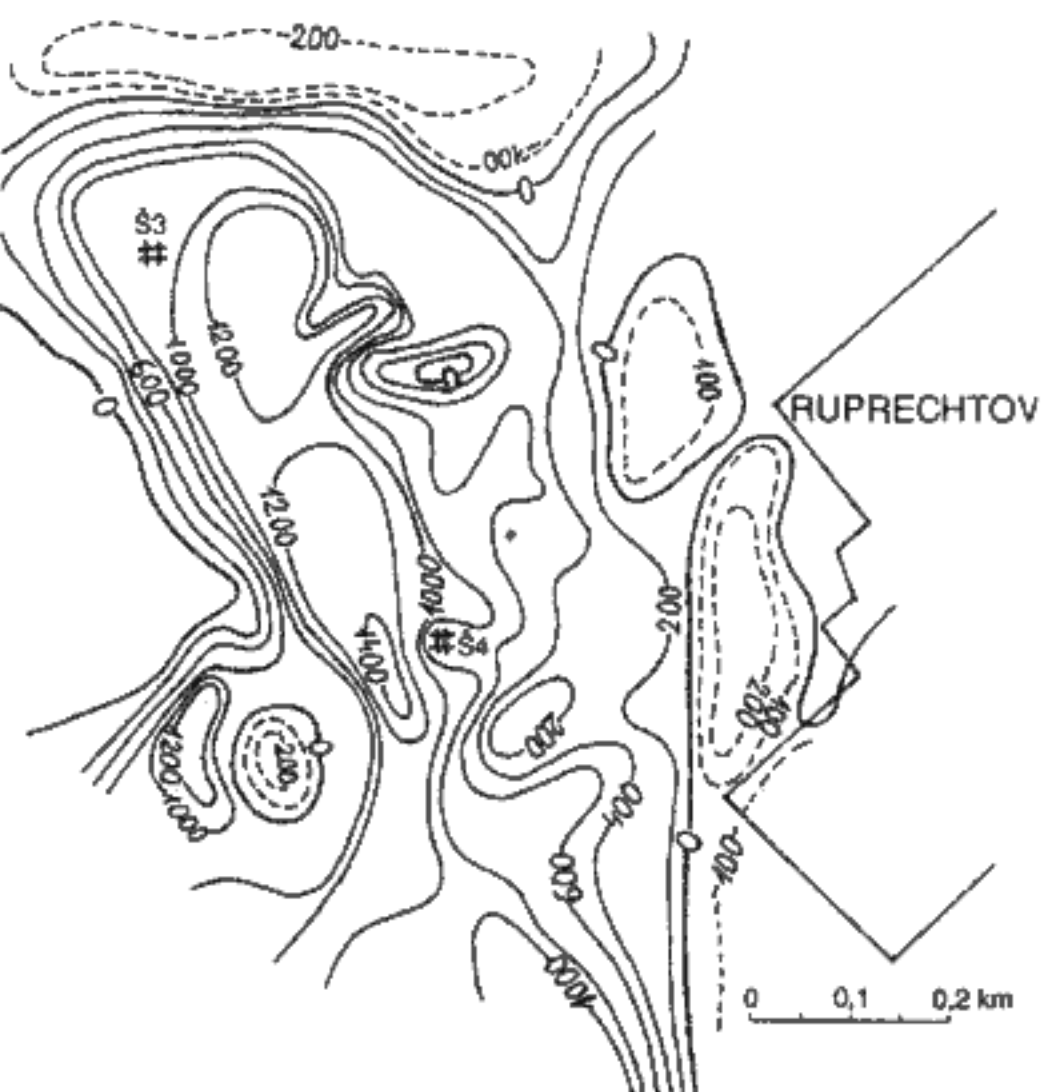
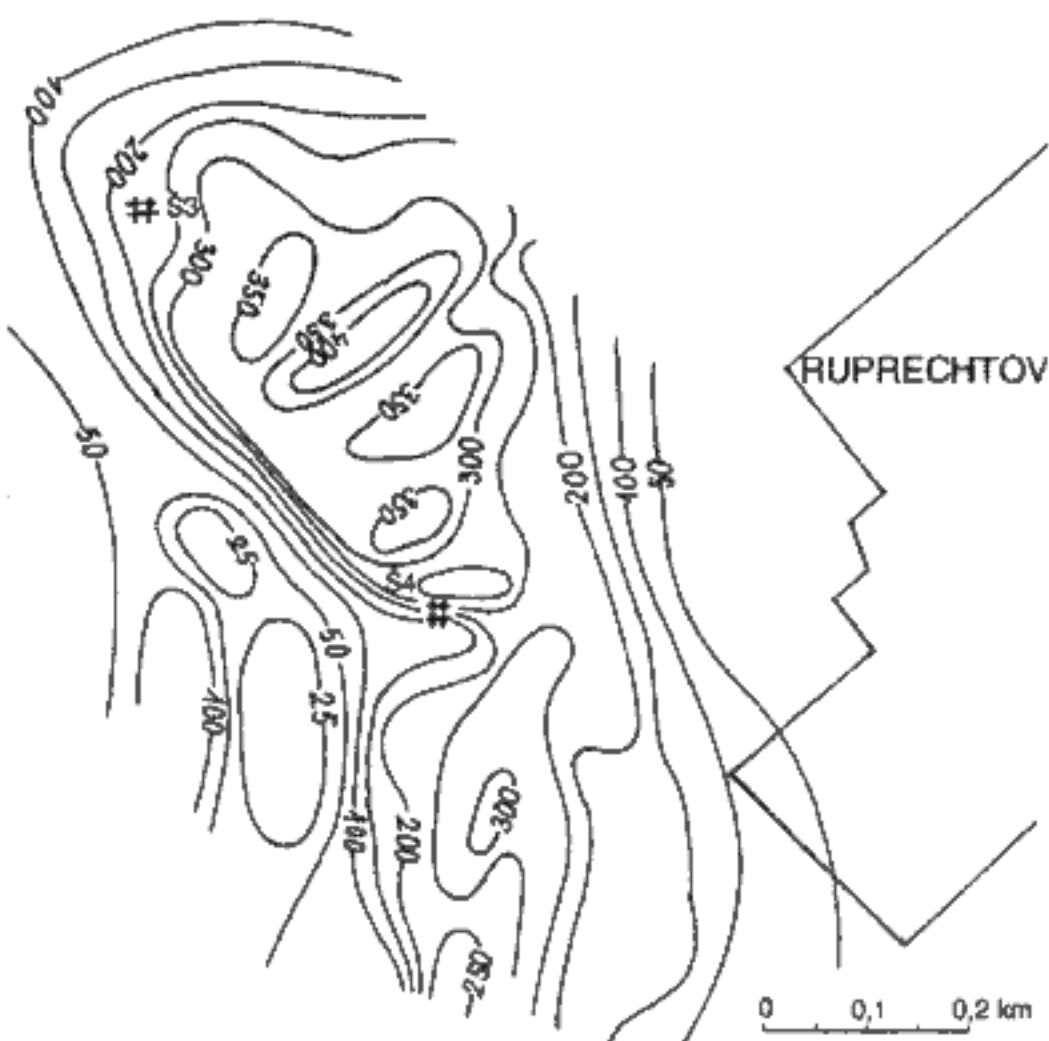
Na několika lokalitách aplikoval geoelektrické odporo-
vé profilování nízkofrekvenčním střídavým proudem
GÜNTHER (1962, 1963a–d). Byly to lokality Vrátnská ho-
ra na okrese Mělník, Dolánky jižně od Teplic, Zákupy, Br-
niště (kopec Tlustec), kóta Lipovec u Novin pod Ralskem a
byly stanoveny hranice vulkanických těles hlavně s křídov-
ými sedimenty. Tyto průzkumné práce měly pomoci roz-
šířit těžbu v provozovaných lomech.

Na více lokalitách bazaltoidních hornin vykonal geo-
elektrická a magnetická měření ŠKUTHAN (1965a–c, 1966,
1967a–c). Na s. okraji Doupovských hor to byla lokalita na
kótě Kolina jjv. od Kadaně. Geofyzikálně byly vyčleněny
tufové vločky v čedičových efuzích. Na s. okraji Slavkov-
ského lesa na kopci Buková bylo čedičové těleso ohraň-
čeno vůči okolním žulám. Odporové profilování mělo hloub-
kový dosah 30 m. V Krušných horách u Potůčků bylo
v krystaliniku geoelektrikou a magnetometrií konturováno
těleso granitu a drobné výskyty neovulkanitů. Granity mě-
ly specifické odpory převyšující 2000 Ω m. Standardní me-

todikou geoelektrického profilování a magnetometrie sledoval stejný autor v podkrkonošském karbonu čedičové výskyty v okolí kóty Kumburk u Jičína.

V oblasti Českého středohoří na lokalitě Jakuby j. od Děčína vymežil ŠKUTHAN (l.c.) čedičová tělesa prorážející křídové sedimenty, tektonické linie a průběh silně magnetizovaných, podle tohoto autora essexitových žil. Ty bylo možné geofyzikálně sledovat jen v prostoru křídových sedimentů mimo areály „slitých vulkanitů“. Podle ústního sdělení M. Chlupáčové však jde o žíly lamprofyrů doprovázejících essexitové intruze.

Na okraji Doupovských hor na lokalitě Mokrá sv. od Žlutic vymežil ANDRES (1960) magnetickým měřením čedičové těleso.



Obr. 2a, 2b. Ruprechtov u Karlových Varů. Geoelektrický a magnetický průzkum pro vymezení bazaltového výskytu a jeho těžbu. Izolinie specifických odporů v jedn. Ωm a anomálií vertikální složky geomagnetického pole ΔZ v jedn. nT (ANDRES 1970).

dičové těleso. Vertikálním odporovým sondováním byla určena mocnost skryvky. Standardním postupem symetrickým profilováním a magnetometrií na lokalitě Ruprechtov u Karlových Varů mapoval stejný autor kontury bazaltoidních těles – obr. 2 (ANDRES 1970).

V Doupovských horách u Albeřic s. od Žlutic vykonal komplexní geofyzikální průzkum HRON (1967b). Vedle stanovení obrysu těženého bazaltoidního tělesa byla ještě sledována vnitřní morfologická a petrografická proměnlivost. S magnetometrií aplikoval kombinované profilování a vertikální odporové sondování. Podrobný geofyzikální průzkum umožnil stanovit dvě poruchová pásma v dobývacím prostoru.

Na lokalitě Světec j. od Teplic měl geofyzikální průzkum vymežit plochu a hloubkový dosah čedičového tělesa a mocnost skryvky (SYNEK 1968). Úkol byl úspěšně řešen kombinací symetrického profilování a vertikálního sondování. Výsledkem bylo i rozlišení partií čediče podle kvality a hloubkový průběh příkrovu.

Standardní geoelektrické profilování a magnetometrii na čedičových lokalitách Slapany u Chebu a Fojtov u Karlových Varů provedla KONEČNÁ (1961) s výsledkem lokalizace vulkanických výskytnů.

Na lokalitě Podmoklice u Semil bylo úkolem geoelektrického profilování a sondování vyčlenit čedičové výlevy projevující se geoelektricky nevodivými pruhy v okolním geologickém prostředí (BENDA 1968). Podobný úkol řešil u Křemýže na Teplicku MATOUŠ (1982). Na ploše přes 2 km^2 konturoval čedičový příkrov na uhelné sloji aplikací symetrického odporového profilování. Méně přesnou se zde ukázala magnetometrie.

Východně od Hřenska sledoval v rámci hydrogeologického průzkumu mocnosti turonských souvrství BENDA (1971). Na příhraniční území zde již nezasáhlo letecké geofyzikální mapování a tak v rámci Bendových průzkumných prací byly magneticky indikovány další výskyty vulkanitů.

Geoelektrický a magnetický průzkum na lokalitě Pelechov na Semilsku přinesl plošné vymapování čedičového příkrovu a stanovení jeho mocnosti. Na části příkrovu byla vymezena šterková terasa (MAISTRYSZIN 1970). Dvě hloubkové varianty geoelektrického profilování přinesly informace o mocnosti zvětralin a hloubce čerstvého čediče. Zatímco detailní profilovou magnetometrií byla stanovena kontura čedičového příkrovu, geoelektrikou byly vymezeny plochy pro těžbu. Hlavním výsledkem bylo stanovení bloku čediče pro těžbu a rozsah šterkopísků.

Regionální geoelektrické měření na ploše 30 km^2 realizoval KURKA (1967) mezi Osečnou a Velkou Čertovou zdí. Vedle vymapování tektonických linií zachytil kombinovaným profilováním i účinky intruzivní vyvěřeliny Čertovy zdi, která se projevuje jako nevýrazný nevodič v okolních křídových sedimentech.

Zkušenosti aplikace geofyzikálních metod na průzkumu kameniva neovulkanitů lze shrnout do jednoduchého metodického schématu. Optimální je komplex pozemní magnetometrie s geoelektrickým profilováním a sondováním. Úspěšný průzkum je podmíněn dostatečně detailním krokem měření. Při prognózách kameniva větších území je třeba vycházet z výsledků aeromagnetometrie a výzkumu geologického.

Uvedená geoelektrická měření tvoří většinu geofyzikálních průzkumných prací na neovulkanitech Českého masivu a jsou citována u příslušných aeromagnetických anomálií v přílohové části části monografie v seznamu geofyzikálně indikovaných lokalit.

3. Pozemní magnetometrie zaměřená na jednotlivé lokality neovulkanitů

Vzhledem k důležité roli magnetometrie při geofyzikálním výzkumu neovulkanitů se poněkud dotkneme její historie. Za první opravdové geofyzikální měření zaměřené na výzkum neovulkanitů lze považovat ŠPAČKOVO (1930) měření Z-složky magnetické intenzity na Řípu v roce 1927 a ČECHUROVO měření magnetické deklinace na Vinařické hoře u Kladna (1936) a později i měření deklinace na Řípu (1940). V práci o Řípu upozornil ČECHURA na starší měření v kapli Sv. Jiří na čedičových dlaždicích za účelem zjištění magnetických účinků zdejší čedičové horniny. Jako zeměměřiče ho zajímal magnetický účinek čedičových hornin především z hlediska vlivu na přesnost geodetických pozorování (buzolní theodolity, tachymetry, deklinatoria). Předpokládal se zejména nežádoucí účinek silně magnetizovaných hornin na průběh normální deklinace. Právě vyšetření deklinačních anomálií na Řípu mělo ukázat na velký účinek čedičů při geodetických měřeních s použitím buzolního theodolitu či tachymetru. Zároveň Čechura upozornil poprvé na geologický význam vyšetřování deklinačních a tedy magnetických anomálií. Citoval i vůbec historicky první odborně vykonané magnetické měření K. KREILA (1846) v českých zemích provedené již v letech 1843–1845. Již tehdy tento zakladatel magnetické observatoře z roku 1839 v pražském Klementinu poznal souvislost poruch zemského magnetismu s geologickou stavbou území. To se později potvrdilo při magnetickém mapování území Rakousko-Uherska koncem 19. století (Liznarova magnetická mapa mocnářství – 1895). Čechurova měření magnetické deklinace na dvou významných a geologicky prozkoumaných čedičových lokalitách Řípu a Vinařické hory ukázala, že anomálie deklinace jsou dobře měřitelné. Dosahují desítky úhlových minut a extrémy až stovky minut obojího znaménka. Nejvyšší porucha na Vinařické hoře měla kladnou hodnotu přes 10 úhlových stupňů. Obdivuhodně vysokou přesnost měření potvrdila střední chyba stanovení deklinace, která byla nižší než úhlová minuta.

Pro studium bazaltoidních lokalit mělo rozhodující význam měření Z-složky geomagnetického pole Schmidovým polním magnetometrem, uváděným do praxe ve dvacátých letech 20. st. Poprvé měřil Z-složku tímto magnetometrem ŠPAČEK (1927) na Řípu. O měření s tehdy zaváděným přístrojem podrobně seznámil geofyzikální veřejnost, popsal jeho teoretické principy a způsob terénního měření a jeho použití ve funkci magnetického variometru. Měření na Řípu a v okolí uskutečnil v letech 1924–1926 na 200 stanovištích. Upozornil na obtíže měření související s rozsáhlými rušivými účinky magnetických sutí čediče v okolí Řípu. Geologický komentář k výsledkům ŠPAČKOVÝCH (1927) měření napsal geolog B. Zahálka. Mělo charakter plošného mapování s nepravidelnou sítí měřených

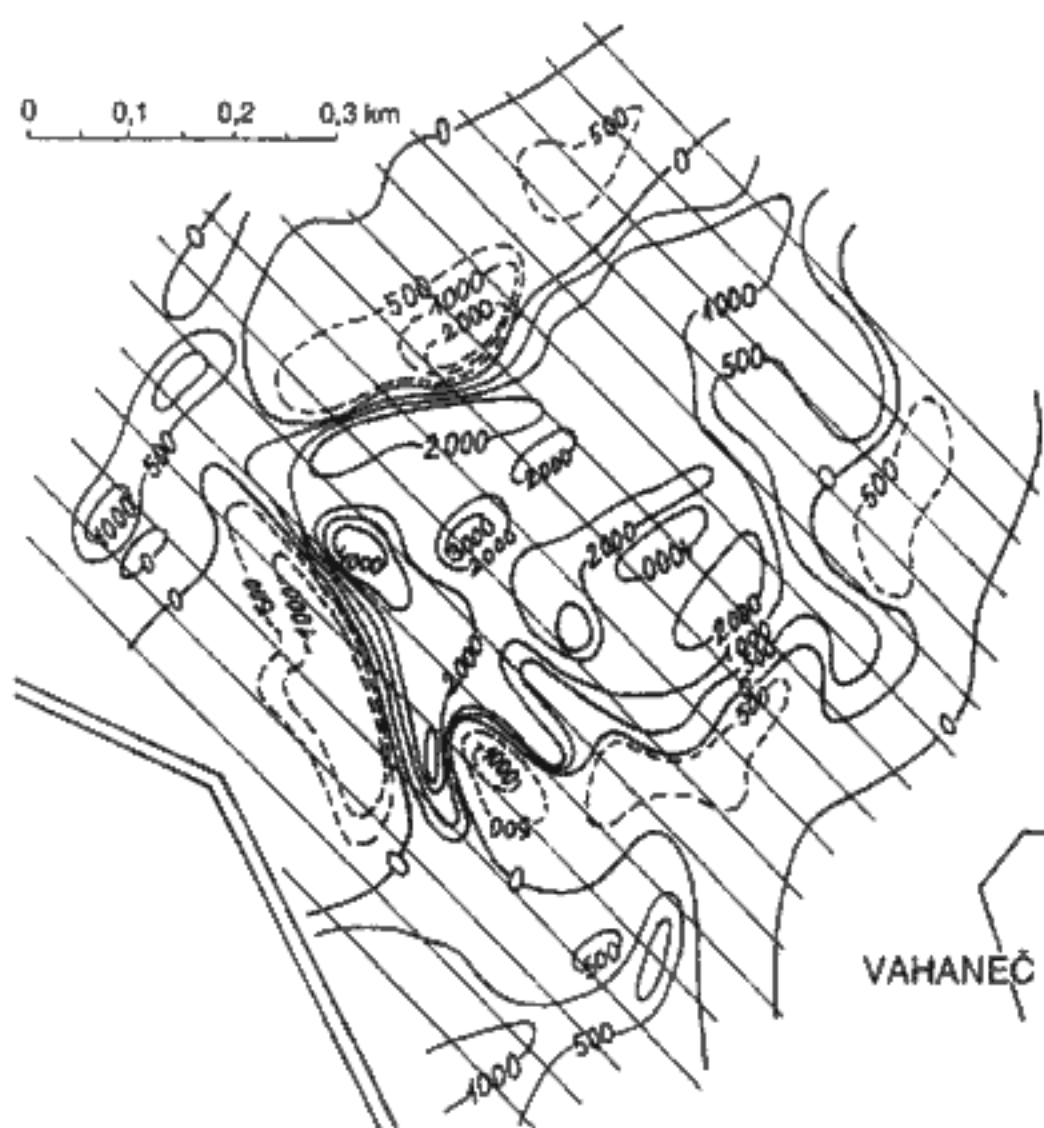
bodů vzdálených navzájem 150–600 m. Na samotné kupě bylo měřeno na 13 bodech a nejvzdálenější body na sever sahaly do vzdálenosti 5 km k Bezděkovu. ČECHURA (1936, 1940) i ŠPAČEK (1927) znázorňovali výsledky měření pomocí různých značek označujících intervaly anomálních hodnot měřené magnetické veličiny na jednotlivých bodech. Je zajímavé, že se nepokusili o sestavení izoliniových map, což asi z hlediska geodetických pravidel považovali za nepřijatelné.

Geologický průzkum bazaltového kameniva a vysoká magnetizace těchto hornin vedly logicky k aplikaci pozemní magnetometrie při vzniku průzkumných pracovišť užitě geofyziky zhruba na počátku šedesátých let 20. století. K časté aplikaci magnetometrie dochází právě v těchto letech, kdy geologický průzkum kameniva dosahuje svého vrcholu. Jak bylo zmíněno v části 2. o geoelektrice, šlo v podstatě o průzkum s cílem rozšíření stávající těžby, vymezování bloků s různou kvalitou kameniva a určování mocnosti skryvky a někdy i sledování lokálních tektonických poruch nepříznivých pro těžbu. Méně se tehdy prováděly práce zaměřené na vyhledávání nových ložisek v prostoru neovulkanitů. Geofyzikální průzkum byl vždy součástí komplexního geologického a ložiskového průzkumu a údaje o výsledcích metod užitě geofyziky je třeba hledat většinou ve zprávách o geologickém průzkumu. Po prvních zkušenostech s vysokou produktivitou magnetického průzkumu v rychlosti měření a menších nákladech na měření se upouštělo od zdoluhavějších a nákladnějších geoelektrických metod a ty se spíše používaly pro stanovení skryvkových poměrů než pro mapování bazaltoidních těles.

Dále následuje výčet lokalit neovulkanitů, na nichž se prováděl magnetický průzkum kameniva. Ve zprávách o měřeních je uloženo množství dat o magnetických vlastnostech i hustotách neovulkanitů a případně i okolních hornin.

Mezi první geofyzikální měření na lokalitách neovulkanitů s použitím magnetometrie náleží měření na trachytovém výskytu na Vrátnské hoře u Libovic na Mělnicku (GÜNTHER 1962). Na vulkanitech byla měřena maxima a minima až 500 nT Z-složky geomagnetického pole a bylo určeno rozhraní vulkanitů s křídovými sedimenty. Zpráva také obsahuje výsledky stanovení magnetické susceptibility, které vykonala M. Krsová v laboratořích tehdejšího Geologického průzkumu Praha. Měření také vedla ke zjištění silně magnetizovaných tufů s hodnotami susceptibility převyšujícími hodnoty trachytových vulkanitů (ve zprávě nepřesně označované jako fonolity). GÜNTHER (1962, 1963a–d) proměřil magneticky a geoelektricky několik dalších izolovaných výskytů neovulkanitů včetně známé lokality Tlustec (s problematickou těžbou na chráněné přírodní lokalitě). Tyto zprávy byly již citovány v části 2. o geoelektrice. Několik izolovaných výskytů bazaltoidů perspektivních pro těžbu proměřil geofyzikálním komplexem se zastoupením magnetometrie Škuthan (1965a–c, 1966, 1967a–c).

K prvním magneticky zkoumaným lokalitám náleží izolované výskytů bazaltoidů Nová hvězda a Vahanec na Karlovarsku (ČEČELÍN 1962). Ukázka výsledků magnetického měření z Vahanče je na obr. 3. Další bazaltoidní těleso stejného autora (1963) magnetometricky konturoval mezi osadami Heřmanice a Děřfichov ve Frýdlantském výběžku. Zjistil, že z magnetického měření nelze odlišit partie zvětralé a



Obr. 3. Vahaneč u Karlových Var. Magnetický průzkum čedičového kameniva. Izanomály ΔZ v jednotkách nT (ČEČELÍN 1962).

čerstvé horniny. Kontury vyvřelin vedl po linii největších gradientů magnetické intenzity. Pozemní maxima dosahovala 3500 nT. ČEČELÍN (1963) pravděpodobně jako první český geofyzik popsal existenci inverzně magnetizovaných neovulkanitů v Českém masivu.

Nejvíce lokalit bazaltoidů zkoumal geoelektrikou s magnetometrií ŠKUTHAN (1965a), jak bylo zmíněno v části o geoelektrice. Na území Doupovských hor mezi osadami Vinaře a Rohlí magneticky mapoval tufové vločky v čedičových efuzích. Měřené hodnoty susceptibility (v jedn. 10^{-6} SI) kolísaly v rozmezí 8200–53 000. Masivní bazalt měl susceptibilitu 455 000. Zcela nemagnetický je bentonizovaný čedič a bentonit s hodnotami < 1000 .

V Krušných horách mapoval ŠKUTHAN (1965c) magnetometrií u Potůčků čedičové těleso indikované regionálním měřením. Opět se mohl při interpretaci opřít o stanovení susceptibilit silně magnetizovaného bazaltu v nemagnetickém prostředí krystalinika a granitů.

V nemagnetických žulách ve Slavkovském lese vystupuje bazaltoidní centrum u kóty Buková, 2 km od Horního Slavkova. Rozsah efuze byl vymapován magnetickým měřením. Nad komínovou strukturou vyplněnou bazaltovou lávou dosahovaly hodnoty magnetické anomálie 1000 nT (ŠKUTHAN 1965b).

Z Podkrkonoší je magnetické měření z okolí kopce Kumburk u Syřenova. Zde se ukázalo, že masivní bazaltoidy vystupují pouze na samotném kopci. Také toto měření bylo doplněno údaji o susceptibilitách karbonských sedimentů a bazaltů (ŠKUTHAN 1966).

V geologicky komplikovaném území „slitých vulkanitů“ u obce Jakuby v Českém středohoří bylo úkolem magnetického průzkumu ohraničit čedičové těleso v křídových souvrstvích. Vedle bazaltoidního centra byly v okolí sledovány silně magnetizované žilné horniny. Jejich průběh

v bazaltoidním prostředí byl však skryt účinky bazaltoidů. Z této lokality je laboratorně zpracována větší kolekce vzorků různých typů vyvřelin. Bazalty měly hodnoty susceptibility (v jedn. 10^{-6} SI) 37 500–117 000, olivinické nefelinity 24 300–102 000, trachyt 17 900–30 800 a camptonit 51 200 (ŠKUTHAN 1967b).

Názornou ukázkou vymezení kontur bazaltoidního tělesa magnetickým měřením je lokalita Ruprechtov na jihozápadním okraji Doupovských hor (ANDRES 1970). Na obr. 2 je patrná shoda výsledků magnetometrie a symetrického profilování v ohraničení vulkanického výskytu.

Z Doupovských hor je také geofyzikální průzkum bazaltoidního tělesa při silnici Luka–Albeřice–Lochotín (HRON 1967b). Úkolem bylo stanovit obrys známého těženého výskytu vulkanitů a prozkoumat možnost rozšíření těžby do předpolí lomu a případně určit i mocnost těžené horniny. Bazaltoid zde vyvolává kompaktní magnetickou elevaci a přesně bylo stanoveno rozhraní vulkanitů a tufů. Magnetické měření prokázalo, že rozšíření lomu k S není perspektivní. Laboratorní měření susceptibility vykázalo u těžené jemnozrnné horniny hodnoty 31 500–44 000 a u hrubozrnného čediče 41 500–63 000 $\cdot 10^{-6}$ SI.

Magnetometrií a geoelektrickým měřením vymezil MAISTRYSZIN (1970) konturu čedičového příkrovu, stupeň zvětrání a v sousedství vulkanitů mocnost šterkové terasy na lokalitě u Pelechova v Podkrkonoší. Lokalita byla již zmíněna v druhé kapitole o geoelektrických metodách.

Jiným úkolem magnetického průzkumu bylo v areálech neovulkanitů upřesnit geologické podklady pro situování hydrogeologických vrtů. Bylo třeba vyloučit místa, kde by masivní vulkanity znemožňovaly vrtné práce a místa nevhodná pro vytvoření vydatnějších zvodnělých obzorů (MAŠÍN – ČEJCHANOVÁ 1987). Pro takové úkoly se obvykle vycházelo z podkladů aeromagnetického mapování.

Samostatnou skupinu tvoří při výzkumu neovulkanitů magnetická měření pro vyhledávání pyroponosných brekcií v Českém středohoří. V podstatě šlo opět o stanovení kontury komínových struktur vyplněných vulkanickými brekciemi pod mělkým kvartérním pokryvem. Geofyzikální testovací měření na známých lokalitách ukázalo, že vyhledávání takových vulkanických struktur je spolehlivě řešeno pozemní magnetometrií za předpokladu dostatečně detailní sítě profilů. Podrobnou magnetometrií byly pro měřeny známé výskytu komínů s vulkanickými brekciemi na Třebenicku. Na obr. 4 je výsledek stanovení obrysu známé trubkové struktury Linhorka (JELEN et al. 1963). Další příklady z tohoto území uvádí KOPECKÝ et al. (1967) v práci shrnující celou problematiku výzkumu pyroponosných hornin v Českém středohoří na Třebenicku. Porovnání s výsledky ostatních použitých geofyzikálních metod potvrdilo, že hlavní vyhledávací a interpretační geofyzikální metodou je magnetometrie vykonaná v dostatečně detailním měřítku (POKORNÝ in KOPECKÝ et al. 1967).

Na větší ploše probíhal vyhledávací průzkum pyroponosných hornin v síti 50 $\times$ 20 m u Třebívlic. Z širšího prognózního území byly pyroponosné peridotity jen v j. části. Komínová brekcie byla magnetickým měřením vysledována 600 m j. od Solanské hory.

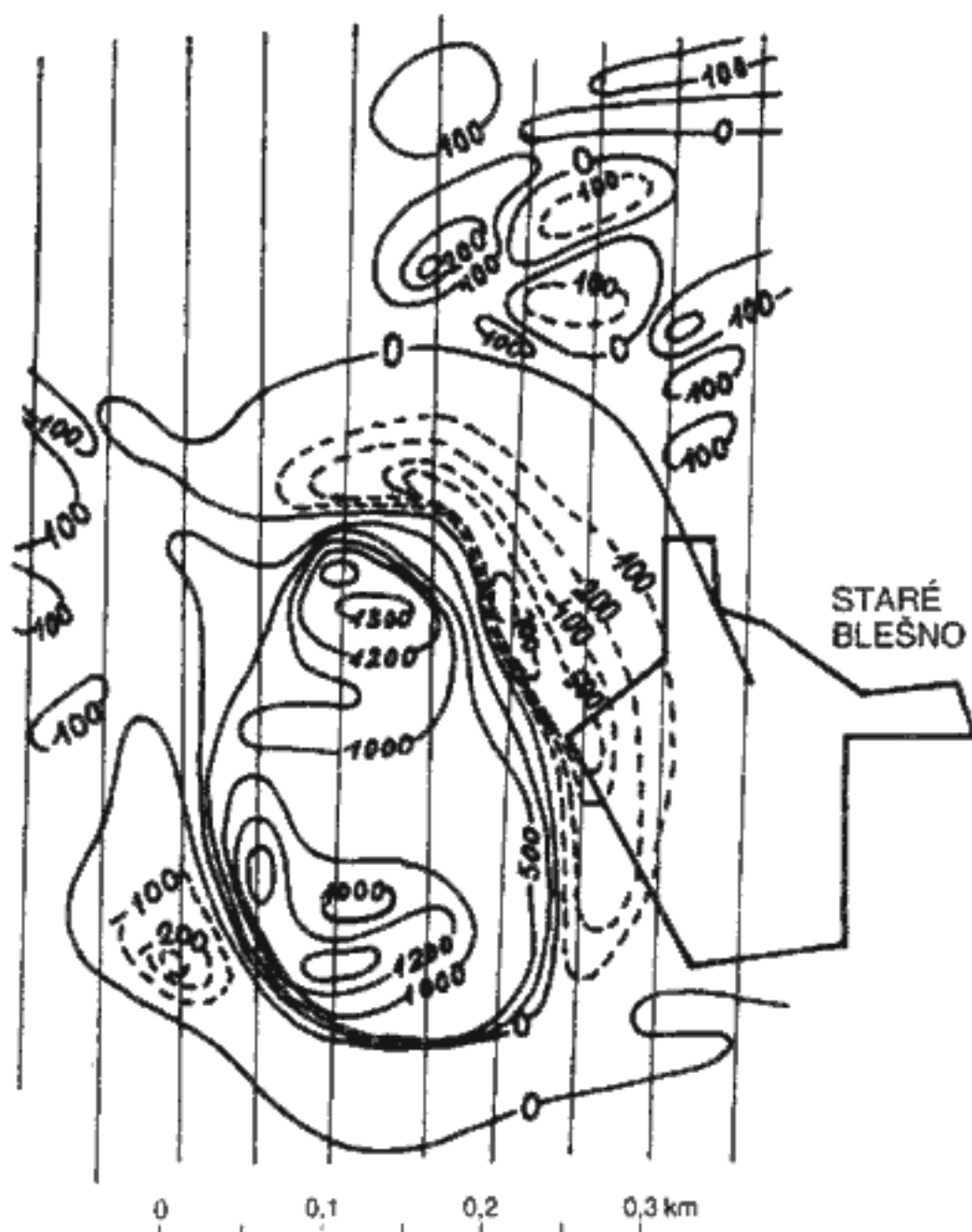
Zbývající magnetická měření v rajonech neovulkanitů jsou omezena na jednotlivé interpretační profily přes aero-

magneticky indikované komínové struktury na několika málo lokalitách za účelem zpřesnění interpretace výsledků aeromagnetického mapování. Výjimku tvoří podrobněji proměřené lokality neovulkanitů v síti profilů v Krušných horách a v mostecké pánvi v rámci edice geofyzikálních map 1 : 25 000. V příloze jsou uvedeny příslušné lokality a geofyzikální citace.

4. Pozemní regionální magnetometrie

Při plošné pozemní magnetometrii regionálního rozsahu, která byla realizována zejména v Krušných horách (POKORNÝ et al. 1966, 1970) a v Jeseníkách (GRUNTORÁD et al. 1967), byly naměřeny anomální hodnoty Z-složky geomagnetického pole na známých výskytech neoidních bazaltoidů nebo v jejich blízkosti. Vzdálenost měřených bodů 300–500 m však neumožňovala získat přímo interpretovatelné a využitelné údaje o rozmístění, tvarech a látkovém složení vulkanických těles. V Krušných horách bylo třeba rozvinout další etapu zahušťovacích měření na zjištěných drobných až bodových anomáliích z regionálního mapování (POKORNÝ – RACKOVÁ 1980). Indikace drobných vulkanických center a drobných reliktů lávových příkrovů byly více méně nahodilé. V podobné situaci bylo také regionální tíhové mapování v Krušných horách a tam POLANSKÝ (1980) důsledným zahuštěním „podezřelých“ bodových anomálií lokalizoval řadu neznámých vulkanických center (viz 1. část o gravimetrii). Je třeba litovat, že k této ověřovací etapě se po regionálním magnetickém měření téměř nepřistoupilo, protože vyhledávání neovulkanitů nebylo tehdy prioritou regionálního mapování. Řada nejasných indikací neovulkanitů z regionální magnetometrie byla v Krušných horách a sousedním území revidována a zpřesněna pozdějším mapováním aeromagnetickým (ŠALANSKÝ – MANOVÁ 1977a). Lokality jsou uvedeny v tabulkách k mapovým listům M-33-50-D-a, c, d v přílohové části.

V oblasti výskytů izolovaných i „slitých neovulkanitů“ je ojedinělou prací magnetické mapování HRONÁ (1967a), které bylo vykonáno v severních Čechách při v. okraji Českého středohoří na Českolipsku až po státní hranici u Varnsdorfu. Toto magnetické měření bylo jako součást geofyzikálního výzkumu české křídové pánve provedeno v době, kdy v plném proudu již probíhalo letecké mapování Českého masivu v měřítku 1 : 25 000. Měření bylo dosti rozsáhlé a zabíralo 7 listů map 1 : 25 000 (listy M-33-42-A-a, c, d, C-a, b, c, d). Výsledkem měření byly indikace velkého počtu anomálií různé velikosti a amplitudy, které jsou převážně vyvolány neovulkanity. Již v roce 1968 bylo stejné území pokryto leteckou geofyzikou v rámci regionu severních Čech (ŠALANSKÝ 1977b). Možnost porovnat výsledky pozemní a letecké magnetometrie na tak velké ploše umožňuje spolehlivě zhodnotit účinnost obou metod při výzkumu neovulkanitů. Jednoznačně se prokázaly přednosti aeromagnetometrie nejen v rychlosti mapování a menších nákladech (produktivita měření), ale také co do objemu získané geologické informace i přesnosti lokalizace vulkanických center. Pozemní měření se vzdáleností stanovišť 300–500 m potvrdila, že bazaltoidy jsou indikovány více méně náhodně, pokud není cíleně měřeno na



Obr. 4. Magnetický průzkum pyroponosných diatrem na Třebenicku. Diatrema s kimberlitoidní a bazaltoidní brekcií Linhorka. Izanomalý ΔZ v jednotkách nT (JELEN et al. 1963).

známých výskytech. Výsledky plošného regionálního pozemního měření ve formě izolinií jen velmi hrubě vystihují magnetický obraz a zůstávají spíše předběžnými materiály pro další zpřesňující výzkum.

5. Aeromagnetometrie

Z porovnání pozemní a letecké magnetometrie vyplývá, že aeromagnetické mapování znamená zásadní přínos pro výzkum neovulkanitů. Vzdálenost mapovacích profilů 250 m při vysoké magnetizaci bazaltoidních i trachytových typů umožnila indikovat všechny větší výskyty i většinu drobnějších těles. Pravděpodobnost indikace magnetického zdroje aeromagnetickým měřením závisí na vzdálenosti mapovacích profilů (250 m) a u drobnějších zdrojů na vzájemné poloze zdroje a nejbližšího mapovacího profilu. Tak mohou být zaznamenány zdroje s obrysy prvních desítek metrů, ale v nepříznivých podmínkách mohou zůstat neindikovány vulkanické zdroje i většího rozsahu. Nejednoznačné indikace je třeba v následném výzkumu prověřit a zpřesnit pozemním magnetickým měřením. Vždy je třeba považovat interpretace jednotlivých lokálních aeromagnetických anomálií bez dalšího terénního výzkumu jen za předběžně informativní a tedy ne vždy zcela spolehlivé.

Nejcitlivěji reagovala aeromagnetometrie na vulkanické komíny a maarové struktury vyplněné bazaltoidními vulkanity a zakryté mladšími neogenními či kvartérními sedimenty. V aeromagnetickém obraze se projevují i další

formy vulkanických efuzí jako jsou příkrovy a proudy i jejich denudační reliktů. Intruzivní formy jako jsou ložní a pravé žíly, lakolity a pně jsou také spolehlivě indikovány v případech dostatečného objemu vulkanických hornin. Méně zřetelné jsou v aeromagnetickém obraze mocné polohy pyroklastik a komínové a žilné struktury vyplněné vulkanickými brekciemi. Podobně jako geologickému mapování unikají i aeromagnetické indikaci drobné výskyty jako jsou žíly metrových mocností. Teprve detailní magnetické měření může takové výskyty odhalit, jak to bylo třeba prokázáno na několika lokalitách na Liberecku. Nový výzkum naznačil, že počet drobných bazaltoidních výskytů je mnohem četnější, než jak to uváděly dosavadní geologické podklady (ŠALANSKÝ et al. 2001).

Aeromagnetometrie základního měřítka (1 : 25 000) je zcela nejvýznamnější metodou geofyzikálního vyhledávání a dalšího výzkumu neovulkanitů, neboť spojuje regionální metodiku v rychlém proměření velkých ploch a detailní průběh magnetické intenzity podél mapovacích profilů. Proto lze přímo použít měření na mapovacích profilech i pro kvantitativní interpretaci. V areálech souvislého rozšíření neovulkanitů je pozemní měření více méně ovlivněno povrchovými bloky a sutěmi a získání reálného magnetického obrazu je obtížné až nemožné. Velkou výhodou aeromagnetometrie je potlačení magnetických účinků silně magnetizovaných sutí a bloků. U aeromagnetického měření lze volbou vyšší hladiny měření účinně potlačit magnetický projev menších vulkanických objektů a zaznamenat účinky rozsáhlejších vulkanických center. Tato metodika byla zvolena v Českém středohoří a v Doupovských horách a výsledky těchto výzkumů jsou stručně hodnoceny v dalších částech textu (ŠALANSKÝ 1977a, c).

Podobně jako u regionálního měření pozemního i u aeromagnetometrie by měla následovat ověřovací etapa. V ní by měly být magneticky zpřesněny polohy vulkanických center, amplitudy anomálií a přesné tvary vulkanických těles. Částečně se k ověřovacím měřením přistoupilo při sestavování a interpretaci edice geofyzikálních map na několika sekcích v západních Čechách a v Krušných horách. Bez ověření zůstává většina anomálií neovulkanitů v Doupovských horách a Českém středohoří. Dosud nebyly soustavně studovány lokality s inverzně magnetizovanými vulkanity, také zjištěnými aeromagnetickým mapováním v různých oblastech neovulkanitů (např. kopec Vladař u Žlutic se zápornou anomálií s minimem -1000 nT), Buková hora v Jizerských horách (-2000 nT) a celá řada dalších záporných anomálií ΔT vyvolaných inverzně magnetizovanými vulkanity.

V Nížkém Jeseníku byly téměř všechny lokality známých i aerogeofyzikálně zjištěných výskytů neovulkanitů zpracovány MARKEM (1969, 1973, 1974) v rámci paleomagnetických výzkumů. Podobné zpracování zcela chybí v ostatních oblastech neovulkanitů Českého masivu. Je však vhodné připomenout, že v Nížkém Jeseníku jde o první desítky lokalit, kdežto v západních a severních Čechách to jsou stovky známých i aeromagneticky nově indikovaných výskytů. Čeká na ně další petromagnetický a vulkanologický výzkum a v přílohou části sestavený seznam těchto lokalit by měl usnadnit budoucí etapu geofyzikálního výzkumu neovulkanitů v České republice.

6. Aeroradiometrie

Použití radiometrie ve výzkumu neovulkanitů je dosud ojedinelé a z příkladů měření většího rozsahu to byla aplikace pozemní gamaspektrometrie při výzkumu „pseudotrachytové kaldery“ ve smyslu KOPECKÉHO (1987) u Roztok n. Labem (MRLINA – FERENC 1988). V prostoru uvažované kaldery prokázalo měření zvýšené obsahy draslíku. Spektrometrickým gama měřením se potvrdily rozdíly koncentrací radioaktivních prvků u žilných hornin prorážejících celou vulkanickou strukturu.

Výsledky aeroradiometrického mapování v měřítku 1 : 25 000 na rozsáhlých plochách „slitých vulkanitů“ v Českém středohoří i na jednotlivých vulkanických lokalitách v jeho okrajových částech, zejména na Novoborsku, ukázaly na možnosti této metody při mapování neovulkanitů. Aeroradiometrie potvrdila výsledky laboratorních gamaspektrometrických výzkumů o vysoké radioaktivitě fonolitových typů (CHLUPÁČOVÁ 1977).

První údaje o radioaktivitě vulkanických hornin uvádí MATOLÍN (1970). Podrobněji studovala radioaktivitu těchto hornin ze západních Čech CHLUPÁČOVÁ (CHLUPÁČOVÁ 1977, CHLUPÁČOVÁ – KROPÁČEK 1977). Poukázala zejména na vysokou radioaktivitu kyselých vulkanitů na řadě lokalit Českého středohoří, z okolí Mostu a z Lužických hor. U trachytových hornin upozornila na regionální změny distribuce radioaktivních prvků. Z hlediska úhrnné aktivity gama nejvyšší hodnoty uvádí u fonolitů z Lužických hor, což potvrzuje také aeroradiometrický obraz. Výsledky CHLUPÁČOVÁ shrnula do základní geofyzikální monografie IBRMAJERA, SUKA et al. (1989). Jsou v ní zhodnoceny výsledky práce Geofyziky Brno v regionálním geofyzikálním výzkumu bývalé Československé republiky za 30 let existence této instituce. Novější shrnutí petrofyzikálního studia v západních Čechách včetně neovulkanitů je obsaženo ve zprávě HROUDY a CHLUPÁČOVÉ (1993).

Zpracování aeroradiometrických měření v Českém středohoří a Lužických horách zhruba souhlasí s výsledky CHLUPÁČOVÉ (1977), která v přehledu uvádí údaje laboratorních gamaspektrometrických stanovení obsahu přirozených radioaktivních prvků hlavních typů neovulkanitů v tabulce 1, kterou jsem do tohoto textu převzal z další publikované práce této autorky (CHLUPÁČOVÁ – KROPÁČEK 1977). Od stejné autorky je tabulka distribuce radioaktivních prvků u hlavních typů neovulkanitů, kterou předložila do monografie MALKOVSKÉHO et al. (1985). Závěry CHLUPÁČOVÉ umožnily pak více méně jednoznačnou interpretaci radioaktivních anomálií neovulkanických vyvěřelin. Důležitý je závěr studia radioaktivity, který ukázal, že některé bazaltoidní vulkanity a foidity jsou srovnatelně radioaktivní s běžnými horninami krystalinika. Z výsledků laboratorních analýz vyplývá, že bazaltoidní horniny s nízkou aktivitou gama by se měly výrazněji projevovat při aeroradiometrickém mapování výrazněji sníženými hodnotami úhrnné aktivity gama. Jak však měření ukázalo, ve shodě s výsledky laboratorního měření, platí to v územích, kde okolí vulkanických hornin tvoří horniny se zvýšenou radioaktivitou, především variské granitoidy (Krušné hory, Slavkovský les). Na většině ostatních území se však snížená radioaktivita bazaltoidů výrazněji neprojevuje.

Tabulka 1. Radioaktivní vlastnosti neovulkanitů (CHLUPÁČOVÁ – KROPÁČEK 1977)

skupina	n	U _{ra} (ppm)	Th (ppm)	K %	Q _T (ppm) U _{ekv}	SiO ₂ %	Nb (ppm)
olivinické čediče	18	1,8	6,7	1,1	5,6	41,73	
bazanity	11	1,6	6,2	0,8	5,0	42,31	
olivinické nefelinity	8	2,3	9,4	1,0	7,2	38,69	
melilitické olivinické nefelinity	5	2,5	10,2	1,3	8,2	36,98	122
melilitické olivinické nefelinity Čertových zdí	9	1,9	6,3	1,2	5,7	38,47	99
polzenity	15	4,1	13,2	1,2	10,6	33,00	137
nefelinity, analcimity	9	2,9	10,3	0,9	8,0	39,26	
leucitity	3	1,8	6,5	0,8	5,3	40,06	
čediče s. s.	4	2,1	8,2	1,6	7,0	44,24	
sodalitické a alkalické trachyty Českého středohoří	16	3,8	16,0	3,8	14,2	56,41	125
alkalické trachyty Lužických hor	9	4,4	21,5	4,7	18,0	60,20	202
sodalitické alkalické trachyty Českého středohoří	11	5,3	17,1	4,7	17,3	56,55	130
sodalitické alkalické trachyty Lužických hor	10	5,6	24,1	4,8	21,4	57,17	193
sodalitické alkalické trachyty-fonolity v české křídové pánvi	6	8,4	28,4	4,1	24,2	53,15	160
fonolity Českého středohoří	10	14,1	34,2	4,5	32,7	55,58	142
fonolity od Mostu	7	13,0	30,3	4,4	29,4	55,61	272
fonolity Lužických hor	10	11,1	41,1	4,5	32,2	58,13	294

Poznámky autorů tabulky: Obsahy uranu jsou stanoveny za předpokladu radioaktivní rovnováhy. Symbol Q_T označuje úhrnnou aktivitu gama. Obsahy niobu jsou vypočteny podle hodnot udávaných SHRIBENÝM a MACHÁČEKEM (1973, 1974).

Kromě nejnovějšího leteckého mapování Doupovských hor v roce 2001 s aplikací gamaspektrometrie zůstává obraz úhrnné aktivity gama území od Doupovských hor na S bez údajů spektrometrických.

Geofyzikální práce v Krušných horách ukázaly, že značná část diatrem prorážejících krystalinikem a granitoidy vystupuje v areálech pokrytých mokřinami a rašeliníšti. V nich jsou hodnoty radioaktivity sniženy a stíní proto případné kladné či záporné radioaktivní účinky vulkanické výplně diatrem.

Výrazné kladné anomálie trachytových vulkanitů a zejména fonolitů vymezují jak mohutné pně, tak i drobné výskyty. Charakteristické jsou nepravidelné až „rozplizlé“ tvary anomálií aktivity gama, protože tyto zachycují i účinky rozvlečených bloků a sutí radioaktivních vulkanitů i mimo jejich místa původních výskytů. U trachytových hornin lze zpřesnit pozici vulkanických center pozemní magnetometrií. Fonolity jsou však bez magnetických účinků.

Jak bylo uvedeno, jediným územím se souvislými výskyty neovulkanitů s realizovanou leteckou spektrometrií gama jsou Doupovské hory a jejich j. a jv. okolí (DĚDÁČEK et al. 1986, DĚDÁČEK – GNOJEK 2001).

7. Petrofyzikální výzkumy

Studium fyzikálních vlastností hornin je doplňkem petrografických výzkumů i součástí geofyzikálního výzkumu.

Postupně svou metodikou a výzkumným zaměřením z prostého určování fyzikálních parametrů hornin se vytvořil vědní obor – petrofyzikální výzkum, který má své specifické výzkumné cíle. Petrofyzika se vyvinula z měření fyzikálních vlastností hornin pro upřesnění geologické interpretace geofyzikálních měření. Znalost fyzikálních parametrů hornin je nutná pro kvalitativní interpretaci, v současné etapě vývoje užité geofyziky i pro zpřesnění kvantitativních počtačových modelů. To se zatím nejvíce prokázalo u hustot hornin při interpretaci tíhových profilů. Údaje o hustotách vulkanitů byly v raném stadiu vědecké petrografie běžně uváděny ve zprávách a publikacích starší generace českých petrografů E. Bořického, J. Gottharda a O. Pacáka. Hustotami vulkanitů se naopak nezabýval ve svých pracích J. E. Hibsche, stejně jako všichni jeho čeští pokračovatelé v 2. polovině 20. století.

Hustota hornin se uváděla jako jeden z technických parametrů ve zprávách o průzkumu vulkanitů na kamenivo. Pro interpretaci tíhových map provedli podrobnější studium hustot neovulkanitů ONDRA s HANÁKEM (1982). V části 1. o gravimetrii jsou obsaženy základní údaje o hustotách neovulkanitů.

Ve srovnání s gravimetrií je situace měření i významu fyzikálních parametrů odlišná u geoelektrických metod. Z laboratorního stanovení, zejména specifického odporu, je obtížným úkolem získat věrohodné údaje. Stupeň zvětřování horniny, proměnná vlhkost, změny porózity a deformace hornin mění zásadně geoelektrické parametry o celé

řády. Proto laboratorní vyšetřování geoelektrických parametrů zaostávalo za studiem ostatních fyzikálních veličin.

Největšího rozmachu doznal výzkum magnetických parametrů, přestože velký rozptyl hodnot magnetizace omezuje její plnější využití pro kvantitativní interpretační modely. To platí zvláště pro bazaltoidní vulkanity neoidního stáří. Vlivem pozdně magmatických a postmagmatických pochodů, zvláště složitých procesů zahřívání a chladnutí magmatu či lávy za různých podmínek v intruzích a efuzích dochází ke vzniku nehomogenní magnetizace měnící se od místa k místu. Těžko lze pak definovat nějaké reprezentativní hodnoty magnetizace pro interpretaci magnetického obrazu. Výzkumy magnetizace jsou však důležité k objasnění vzniku nepravidelných magnetických anomálií způsobených zejména inverzní magnetizací. Pro běžnou interpretaci, např. při magnetickém průzkumu kameniva, stačí přibližné stanovení magnetických parametrů susceptibility a remanentní magnetizace.

Susceptibility bazaltoidních vulkanitů se pohybují ve velkém intervalu od stovek do prvních statisíců jednotek (10^{-6} SI). Remanentní magnetizace bazaltoidů je převážně termoremanencí, která záleží na chemickém a mineralogickém složení magnetických složek vyvřeliny. Vedle základních děl NÉELA (1951) a NAGATY (1955) jsou fyzikální základy mechanismu termomagnetizace s četnými příklady neovulkanitů a lamprofytů obsaženy v obsáhlé studii o nepravidelných magnetických anomáliích německého geofyzika NEUMANNA (1960). Zvláštním případem je magnetizace vyvolaná úderem blesku, s kterou je možné se setkat při magnetických měřeních na vrcholcích bazaltoidních kopců a která se vyznačuje extrémními hodnotami měnicími se v krátkých vzdálenostech necelého metru či pouhých decimetrů.

Laboratorní určování magnetické susceptibility s remanentní magnetizací se stalo u magnetického průzkumu neovulkanitů běžnou praxí. Kromě toho začal probíhat samostatný základní petromagnetický výzkum neovulkanitů (KROPÁČEK – POKORNÁ 1973). Jeho výsledky tvoří základní soubor dat pro interpretaci magnetických měření neovulkanitů. KROPÁČKOVY údaje byly převzaty do MALKOVSKÉHO monografie (1985). Další data lze vyhledat v monografii IBRMAJERA, SUKA et al. (1989). Stručně se popisuje mechanismus vzniku magnetizace vulkanitů v závislosti na Curieově teplotě a chemismu horniny v článku CHLUPÁČOVÉ a KROPÁČKA (1977). Z této práce je převzata KROPÁČKOVA tabulka se specifickými susceptibilitami a

Q-koefficienty hlavních horninových typů, což jsou pro interpretaci magnetometrie nejdůležitější parametry.

Tabulka obsahuje následující údaje o hlavních skupinách neovulkanitů: n – počet měřených vzorků, p (%) – obsah feromagnetické příměsi, susc. – magnetická specifická susceptibilita je uváděna v jednotkách 10^{-6} SI, Qn – Koenigsbergův poměr remanentní a indukované magnetizace. Hodnoty susceptibility jsou vypočteny pro geometrické průměry.

Údaje o radioaktivních parametrech jsou přehledně obsaženy v části 6. o aeroradiometrii.

8. České středohoří – magnetický obraz na hladině 300 m nad terénem

Geofyzikální výzkumy Českého středohoří lze rozdělit na přehledné mapování tíhové a letecké geofyzikální měření. Pro základní geologický výzkum jsou výsledky regionálních i detailnějších geofyzikálních výzkumů hodnoceny v příslušných textových archivních vysvětlivkách ke geofyzikálním mapám České republiky 1 : 25 000 a v publikovaných vysvětlivkách k novým geologickým mapám 1 : 25 000 a 1 : 50 000. Hodnocení výsledků regionální geofyziky v Českém středohoří, Doupovských horách a v přilehlých územích mostecké (terciární) pánve, české křídové pánve a krušnohorského krystalinika je obsaženo v regionální monografii MALKOVSKÉHO et al. (1985) a stručné hodnocení výsledků aeromagnetometrie v areálech neovulkanitů v České republice také v monografii IBRMAJERA, SUKA et al. (1989). Zatím nejúplnější hodnocení výsledků aeromagnetometrie je součástí archivní geofyzikální studie o severočeské terciární pánvi (nyní nazývané pánev mostecká) a jejím okolí (ŠALANSKÝ in MAŠÍN et al. 1981) a naposledy v monografii vydané v Českém geologickém ústavu (ŠALANSKÝ – GNOJEK 2002).

Aeromagnetické mapování Českého středohoří na hladině 300 m nad terénem bylo realizováno v roce 1971 na samý závěr jedenáct let dlouhé 1. etapy letecké geofyzikálního měření v bývalé Československé republice. Zkušenosti s aplikací aeromagnetometrie na vyšší hladině v středoslovenských neovulkanitech z poloviny šedesátých let 20. stol. ukázaly, že převážně nehomogenně magnetizované andezitické a bazaltoidní lávy zastírají svými povrchovými částmi a sutěmi případné magnetické účinky větších vulkanických objektů. Oddělení nežádoucích účinků povrchových nehomogenit lze dosáhnout měřením ve větší výšce nad terénem. Po pozitivních výsledcích v karpatských neovulkanických oblastech bylo takové měření realizováno i v Českém středohoří a v sv. části Doupovských hor. Při měření relativních hodnot geomagnetického pole ΔT magnetometrem flux-gate typu bylo obtížným metodickým problémem vyrovnat naměřené hodnoty totálního vektoru na jednotlivých mapovacích profilech na stejnou hladinu normálního pole, což je základní předpoklad pro sestavení věrohodné izoliniové mapy ΔT . Vznikla tak mapa, která v jiných oblastech než jsou areály neovulkanitů by byla hodnocena jako málo přesná, ale v oblasti intenzivních anomálií v celém Českém středohoří byla izoliniová mapa dostatečně věrohodnou, zvláště když mohla být revidována

Tabulka 2. Magnetické vlastnosti neovulkanitů (CHLUPÁČOVÁ – KROPÁČEK 1977)

skupina	n	p (%)	susc.	Qn
polzenity	7	4,5	18 300	2,7
nefelinity	11	10,5	16 650	2,3
leucitity	13	10,8	14 200	2,0
bazalty	24	9,6	10 150	2,7
tefrity	6	6,5	13 600	1,8
trachyty	21	2,2	9700	0,6
fonolity	11	0,1	100	0,7

měřením na hladině 50 m. Na obr. 5 zobrazená mapa izoanomal ΔT uspokojivě zobrazuje větší vulkanické struktury s velkým objemovým nahromaděním bazaltoidních vulkanitů. Magnetická mapa byla poněkud zjednodušena v místech intenzivnějších anomálií a základní interval izolinií byl volen 50 nT. Tento interval postačuje k indikování magnetických účinků všech větších vulkanických areálů. V dalším textu je postupováno při interpretaci větších anomálií zhruba od SV k JZ. Poslední letecký mapovací profil jde na SV zhruba po čáře Rybníště–Zákupy a na opačné straně, na JZ, poslední profil sleduje linii Medvědí skála (923,5 m)–Nové Sedlo–Bítozeves. Délka aeromagneticky mapovaného území Českého středohoří je 80 km a průměrná délka mapovacích profilů směru SZ-JV je 26 km. Na převažující části území měření přesahuje z areálů neovulkanitů hlouběji do mostecké pánve. V pánevní oblasti byly výsledky měření na vyšší hladině jedinými podklady pro geologickou interpretaci, protože měření na nižší hladině bylo zcela znehodnoceno umělými magnetickými vlivy těžební činnosti, průmyslovými závody, elektrifikovanou dálnicí dopravou a energetickými zdroji.

Při dále popisovaném magnetickém obrazu a jeho interpretaci se zabývám pouze většími areály vulkanické aktivity, zejména indikacemi lineárních struktur kilometrových délek a velkými izometrickými vulkanickými centry. Jsou to rozsáhlejší území pokrytá vulkanickými produkty s jedním nebo více přírodnými kanály. Výsledky aeromagnetometrie poskytují základní informace pro kvalifikovaný odhad objemu vulkanických hmot a vypovídají o jejich hloubkovém dosahu. Tento odhad bude upřesňován v další etapě interpretace pomocí počítačového modelování. Modelování bude nejspíše hlavní náplní interpretace naměřených aeromagnetických dat z třetí čtvrtiny 20. století. Je však třeba počítat i s dalšími revizními měřeními v terénu a výzkumy petromagnetickými.

Jak vyplývá z přehledu magneticky indikovaných lokalit v přílohoře části, jde o stovky vulkanických, převážně bazaltoidních objektů vytvářejících buď izolované, nebo komplikovanější anomální magnetické struktury různých tvarů. Anomálie mají amplitudy od desítek do prvních tisíc nT a jsou zastoupeny anomálie obojí polarity. Interpretace izolovaných anomálií je jednoduchým úkolem a z parametrů anomálie lze stanovit např. půdorysné rozměry (obrysy) a hloubku komínového objektu, mocnosti a úklony žilných těles a tím také stanovit objemy vulkanických hmot. Interpretace se stává složitou u kombinovaných anomálií v areálech „slitých vulkanitů“ (FEDIUK 2000), kde dochází k superpozici účinků více vulkanických objektů vzájemně se často prostupujících nebo těsně sousedících. Interpretaci v takových případech často ještě více ztěžují nesouvislé relikt pyroklastik zakrývající někde další vulkanická tělesa. Lze ukázat na příklady skrytých vulkanických struktur maarového či lakolitového typu. Pro celkové zhodnocení aeromagnetického mapování na hladině 300 m byla použita nová přehledná geologická a přírodovědná mapa Českého středohoří (CAJZ et al. 1996) s upřesněním petrografických údajů o vulkanitech z vytištěných nových geologických map 1 : 25 000 a celého souboru map 1 : 50 000 mapových edicí Ústředního a nověji Českého geologického ústavu z osmdesátých a devadesátých let 20. století.

Z komínových vulkanických struktur mohou být aeromagneticky z vyšší hladiny měření indikovány jen objekty většího průřezu a vyplněné silněji magnetizovanými lávami. Náleží k nim výskyt na kótě Slaviček (535 m) na JV od o. Sloup (na příloze lokalita 14 na listu 42-C-c). Letecké maximum je 200 nT, na nižší hladině 1500 nT. Pravděpodobně zde jde o podpovrchový peň v křídových uloženích březenského souvrství.

Na mapě 42-C-c je větší izolované vulkanické centrum vymezeno aeromagneticky jz. od obce Polevsko se skrytým komínem foiditových láv u kóty Klučky (642 m). Vulkanity v mocném příkrovu vytvářejí návrší nad Polevskem. Další indikované centrum leží v jz. sousedství obce Kytlice. Je to skrytý mohutný lakolit v křídových souvrstvích. Lokalita je zajímavá i extrémním maximem 2900 nT na nižší hladině měření. Jde o dosti vzácný příklad magnetické indikace lakolitové struktury bazaltoidů v křídových sedimentech.

Měření na vyšší hladině odhalilo pravděpodobně větší komínovou přírodní dráhu inverzně magnetizovaného olivinického bazaltu na kopci Javor (693 m) u obce Kytlice na listu 42-C-c. Na nižší hladině měření je na Javoru záporná anomálie zároveň okrajem lineární magnetické anomálie, nejspíše indikující mocnou žílu vulkanitů v březenském souvrství.

V magnetickém obrazu vystupují větší vulkanické objekty na listu 41-D-b a D-d. Zvláště charakteristický je magnetický obraz u obce Prácheň na kopci Kozlí (594 m), kde nahromadění láv foiditů je v pyroklastikách největší, zatímco v prostoru Nového Oldřichova v záporných hodnotách ΔT převládají pyroklastika. Významná linie pro výstup láv je vymezena protaženou kladnou anomálií od Výsky pod Lesy směrem k VJV ke Kamenickému Šenovu.

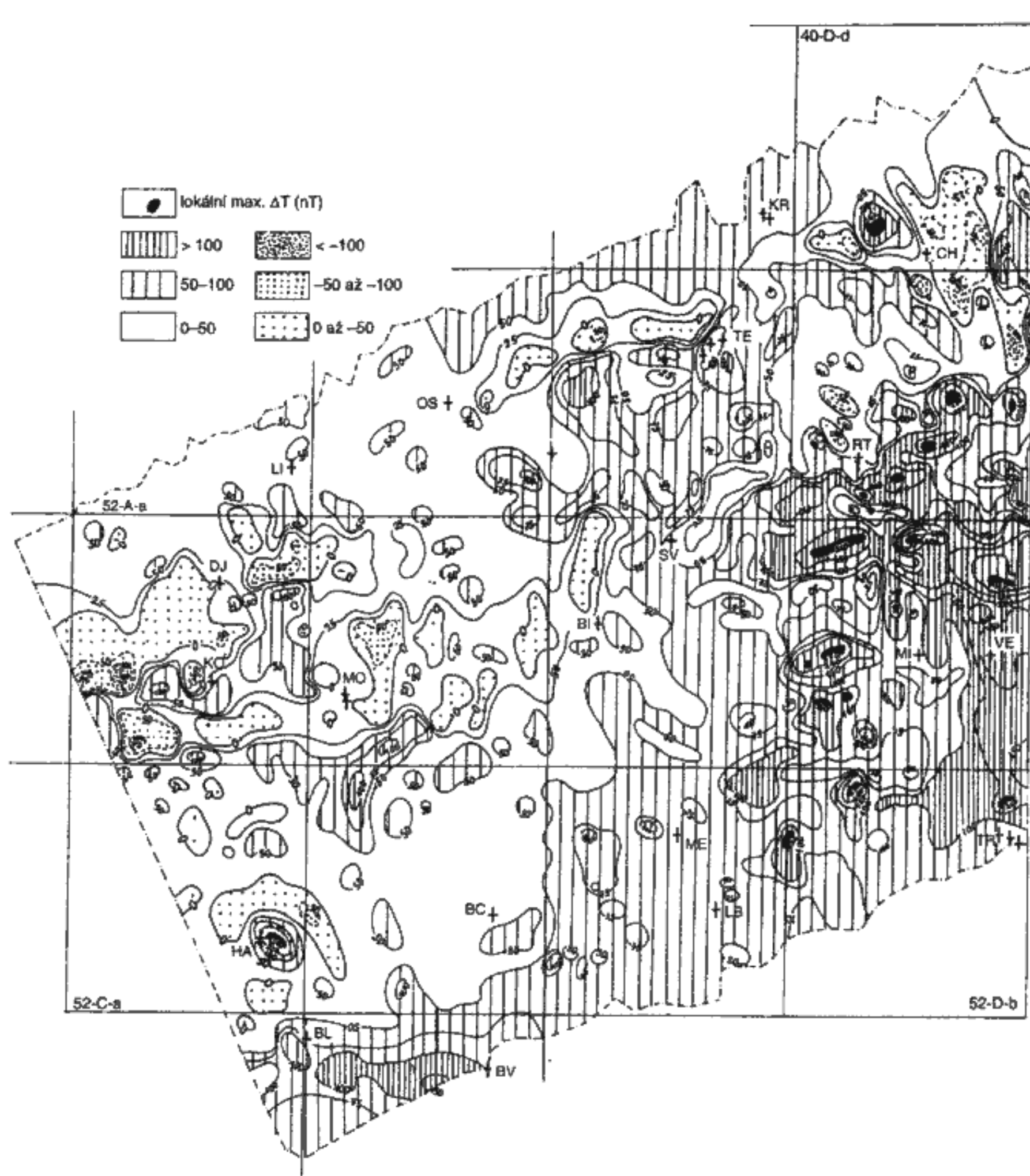
Větší vulkanické centrum je indikováno jv. od obce Valteřice přes kótu Kozel a Kolný na listu 41-D-d a 53-B-b. Rozsáhlejší centrum s vyvinutým sopouchem se nachází v místě izometrické anomálie 300 nT na kopci Hamry u Heřmanic. Aeromagneticky potvrzenou výraznou komínovou strukturou je kopec Ronov u obce Blíževedly s maximem 200 nT a na nižší hladině 800 nT.

Na sekci 41-D-a v. Děčína jsou dva areály velkého nahromadění alkalických bazaltů na V a na Z od obce Dobruška. Jde o magnetické účinky mocných lávových příkrovů s maximy 150 a 250 nT. V těchto maximech ΔT lze předpokládat skryté sopouchy.

Na listu 41-D-c j. od Benešova n. Ploučnicí je v území „slitých vulkanitů“ vymezeno několik větších center tvořených inverzně magnetizovanými vulkanity (minima –175 nT mezi Benešovem n. Ploučnicí a Merbolticemi a izolované minimum –175 nT v z. okolí Heřmanova, v sv. sousedství Merboltic a sv. od Rychnova). Jde pravděpodobně o skryté maarové či komínové struktury vulkanitů vystupujících v okolních příkrovech (převážně bazalty – vždy alkalické).

Opatrněji je třeba posuzovat indikaci žilné struktury od Fojtovic k JV, neboť může jít o nepřesnosti měření (tzv. profilová anomálie). Intenzivní anomálie 200 nT v prostoru Slukovského kopce j. od Rychnova upozorňuje na další vulkanické centrum v rozsáhlých polích pyroklastik.

Indikaci plošně rozsáhlého vulkanického pásma náleží



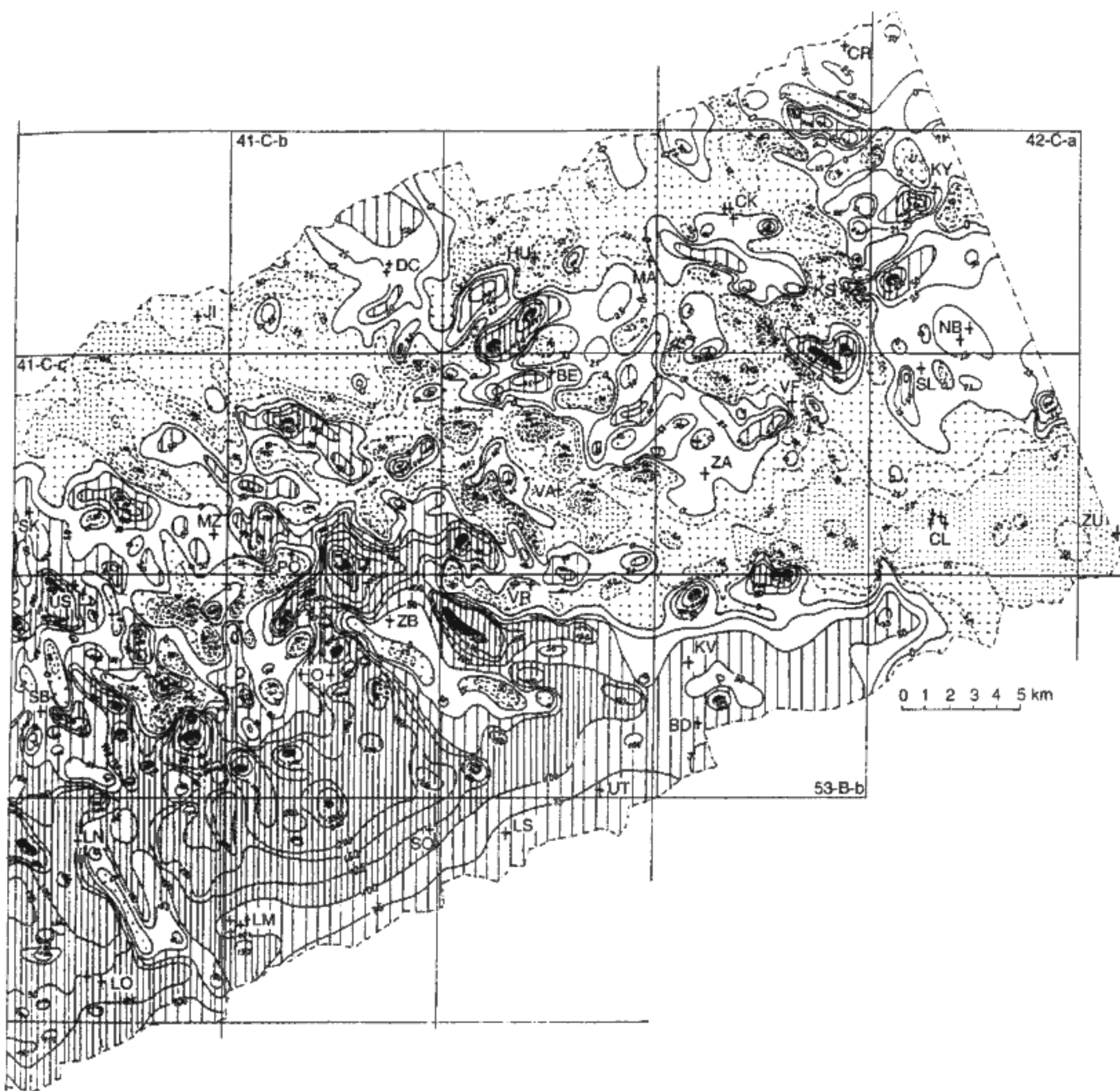
anomálie 300 nT sledovaná v délce 10 km a vymezující mohutnou trhlínovou efuzi bazaltů po hřebetu kopce Matrelík (668 m). V tomto vulkanickém pásmu byla na nižší hladině naměřena maxima ΔT až 2500 nT, což jsou extrémní hodnoty v neovulkanitech Českého středohoří. Na stejné sekci 53-B-a byly zaznamenány další indikace izometrických komínových struktur většího rozsahu (v. sousedství hory Sedlo, v. okolí osady Bukovina, j. od obce Konojedy a další).

Velké nahromadění vulkanitů je aeromagneticky lokalizováno na listu 41-C-d. Jednotlivá větší centra jsou v prostoru osad Hliněná a Babětín, ve v. sousedství Malého Března a sz. od obce Povrly. Vedle náznaků komínových struktur jsou zastoupeny trhlínové efuze skryté mohutnými příkrovy alkalických bazaltů. Zřetelně neanomální je „pseudotra-

chytová“ kaldera (KOPECKÝ 1987), či roztocké intruzivní centrum (ULRYCH 2000) u Roztok. Velké lakolitové těleso lze očekávat z. obce Povrly uvnitř křídových souvrství. Extrémně vysoká anomálie 700 nT na nižší hladině měření (2500 nT) je způsobena účinkem skrytého pně essexitu v křídových sedimentech a v tufech v. od Malého Března.

Na mapě 53-A-b je vyznačen větší počet izometrických anomálií obojí polarity, indikujících komínové struktury vyplněné různými bazaltoidními lávami a zakryté lávovými příkrovy a polohami tefry (viz tabulka k listu 53-A-b). Větší vulkanické centrum zabírá plochu přes 4×1 km a je aeromagneticky mapováno od osady Babiny k JJV. Mohutnější komínová struktura se nachází v j. sousedství osady a je kryta lávovým příkrovem.

Na listu 41-C-c je indikováno velké vulkanické centrum



Obr. 5. České středohoří. Izanomály ΔT (nT). Měřeno na hladině 300 m nad terénem (ŠALANSKÝ 1977c).

Místopisné zkratky: BC – Bečov, BD – Blíževedly, BE – Benešov n. Ploučnicí, BI – Bílina, BL – Blažim, BV – Břvany, CH – Chabařovice, CK – Česká Kamenice, CL – Česká Lípa, CR – Chřibská, DC – Děčín, DJ – Dolní Jiřetín, HA – Havraň, HO – Homole, HU – Huntířov, JI – Jílové, KO – Komoňany, KR – Krupka, KS – Kamenický Šenov, KV – Kravaře, KY – Kytlice, LB – Libčeves, LI – Litvínov, LM – Litoměřice, LN – Libochovany, LO – Lovosice, LS – Liběšice, MA – Markvartice, ME – Měrunice, MO – Most, MZ – Mojžíř, NB – Nový Bor, OS – Osek, PO – Povrly, RT – Rtyň n. Bílínou, SB – Stebno, SK – Skorotice, SL – Skalice, SO – Soběnice, SV – Světec, TR – Třebenice, US – Ústí n. Labem, UT – Ústěk, VA – Valkeřice, VE – Velemín, VF – Volfartice, VR – Verneřice, ZA – Žandov, ZB – Zubrnice, ZU – Zákupy

z. od osady Ryjice. Zabírá zhruba plochu 3×1 km a na SSV je omezeno tektonicky. Zlom sleduje maximální gradient pole ΔT od Chuderova k JV. Další tektonické linie jsou naznačeny severněji od hory Strážáň k JV. Dílčí centrum je naznačeno u Lipové uvnitř oblasti s tefrou.

Velké nahromadění vulkanitů je i na sekci 53-A-a. Izolované centrum z. obce Čeřeniště je zhruba ohraničeno izo-

linií 150 nT s maximem 600 nT na vrcholu kopce Matry s příkrovem bazaltu a pyroklastik. Zde se může jednat o centrální část reliktu stratovulkánu. Na přítomnost silně magnetizovaných essexitů naznačují vysoká maxima 2500 nT z měření na nižší hladině. Lze totiž vycházet z hypotézy, že nejvíce magnetizované horniny (essexity) vyvolávají největší extrémy ΔT .

Na listu 53-A-c se projevují v magnetickém obraze známé velké lokality vulkanitů: kopec Lovoš, na s. okraji mapy kopec Deblík a při sz. okraji je magneticky výrazné centrum s. osady Dobkovičky (CAJZ et al. 1996).

Posuneme-li se dále na Z, pak se ocitáme na listu 40-D-d v mostecké terciární pánvi. V ní byly měření na vyšší hladině získány alespoň přibližné údaje o průběhu anomálního pole ΔT . V jihozápadním sousedství Přestanova u Chabařovic byla na obou hladinách měření zjištěna rozsáhlá izometrická anomálie vyvolaná největší maarovou strukturou v s. části pánevního prostoru. Průměr skrytého maaru dosahuje 1 km.

Na V a JV od Teplic na listu 52-A-b vystupují anomálie indikující větší vulkanická centra na návrší z. od Koštova, Nových Stadíc, v. od Kvítkova v anomálním pásmu Hradiště–Rtyně–Řehlovice. Větší vulkanická centra jsou jv. od Bořislavi. Patrně největší nahromadění lávových hmot bazaltoidů je v magnetické elevaci s maximem 250 nT mezi Štěpánovem a horou Milešovský Kloc. Další areál velkého objemu vulkanitů se nachází v prostoru obce Kletečná, kde maximum překračuje 300 nT. Výraznějším vulkanickým centrem je Solanská hora na s. okraji mapy 52-D-b.

Na Z s přechodem do pánevní oblasti klesá počet i velikost anomálií. Výrazněji se projevuje vulkanické pásmo mezi Bílínou a Mostem. Drobnější anomálie v pánvi nemusí mít reálný geologický původ. Ojedinělou magnetickou strukturou, srovnatelnou velikostí s anomálií u Chabařovic, je izometrická anomálie u Havraně (mapa 52-C-a), vyvolaná rozsáhlým vulkanickým centrem maarového typu. Průměr kráteru je zhruba 1 km. Anomálie byla podrobněji interpretována na nižší výšce měření (viz tabulka v přehledu lokalit v příloze). Soliterní subvulkanická tělesa na Lounsku (CAJZ et al. 1996) se indikují na větší výšce měření jen náhodně, neboť jde o malý objem magnetizovaných magmatických hmot (kopec Milá má maximum jen 30 nT). V těchto jv. částech Českého středohoří již aeromagnetometrie na vyšší hladině měření neindikovala větší vulkanická centra. Velké skryté maarové struktury mezi Havraní a Postoloprty byly nalezeny měření na nižší hladině a nacházejí se již mimo České středohoří.

9. Doupovské hory – magnetický obraz na hladině 300 m analytického pokračování ΔT

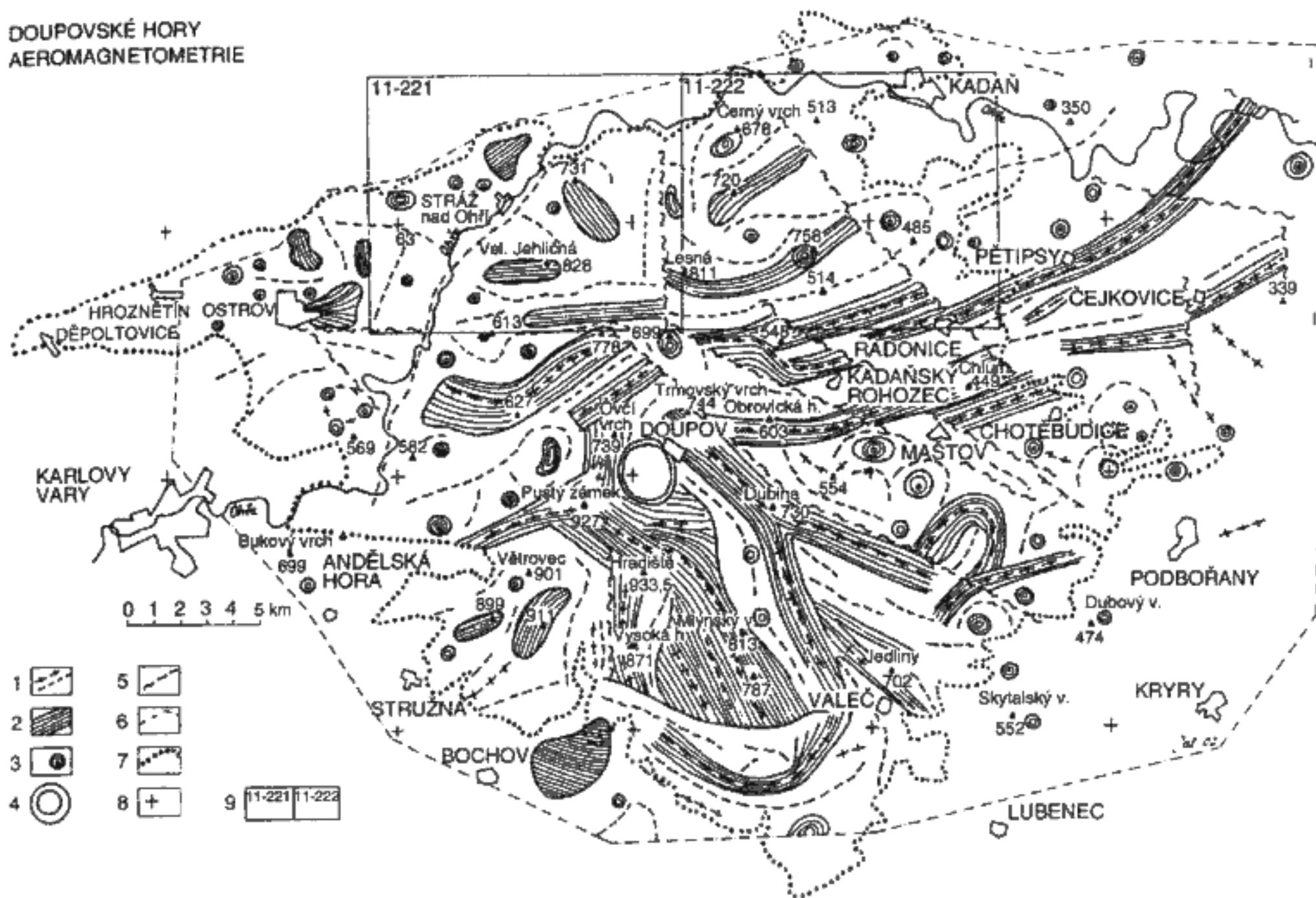
První výzkumy přehledného měřítka ukázaly na mimořádně komplikovaný magnetický obraz Doupovských hor. Členitost magnetické intenzity, prudké gradienty, náhlé přechody z vysokých kladných hodnot do hodnot záporných zabránily z aeromagnetického mapování, s profily vzdálenými 2 km, sestavit věrohodnou izoliniovou mapu anomálií totálního vektoru ΔT . Podobně regionální pozemní magnetické mapování v okrajové části na styku s Krušnými horami přineslo informace o silně magnetizovaných vulkanických hmotách s rušivými účinky sutí těchto hornin. Teprve aeromagnetometrie v měřítku 1 : 25 000 ve výšce 50 m nad terénem dala reálnou představu o rozložení magnetizovaných vulkanických hornin (ŠALANSKÝ 1977 a ŠALANSKÝ – MANOVÁ 1977a). Interpretací tohoto měření

byla vyčleněna větší či menší vulkanická centra i rozsah příkrovů a vulkanických proudů, včetně mohutných žilných pásem. Magnetický obraz zůstal neúplný, protože pro technické problémy nemohlo být aeromagnetické měření realizováno zhruba v celé jz. polovině pohoří.

Pro účely vymezení větších vulkanických celků bylo stejně jako v Českém středohoří vykonáno v sv. části Doupovských hor aeromagnetické mapování na hladině 300 m s mapovacími profily navzájem vzdálenými 500 m. Shodou okolností toto měření také pokrylo část Doupovských hor nemapovaných na nižší hladině 50 m. Předběžná interpretace těchto geofyzikálních výzkumů je obsažena spolu s geologickou interpretací ve zprávě Geofyziky Brno (ŠALANSKÝ – MANOVÁ 1977a) a rovněž v textových vysvětlivkách k novým geologickým mapám 1 : 25 000: listy 11-221 Stráž n. Ohří a 11-222 Kadaň (ŠALANSKÝ in HRADECKÝ et al. 2000, 2002). Zatím jde o předběžnou interpretaci, která se nemohla opírat o pozemní revize anomálních míst a o případné doplňkové pozemní magnetické měření. Pro obtížný přístup do Doupovských hor není např. ani známo přesné místo s nejvyšší letecky naměřenou anomální hodnotou ΔT v České republice, nacházející se mezi Doupovem a zaniklou osadou Prachomety.

Více než polovina území tedy zůstala nezmapována až do roku 2001. Teprve v tomto roce bylo vykonáno nové letecké geofyzikální mapování v nízké výšce do 100 m. Pro Ministerstvo životního prostředí toto měření vykonala skupina letecké geofyziky a. s. Geofyzika Brno standardní metodikou v měřítku 1 : 25 000 (DĚDÁČEK – GNOJEK 2001). Předběžně byly výsledky mapování zpracovány v technické zprávě ve formě magnetických odvozených map 1 : 50 000 pro několik hladin analytického pokračování pole ΔT . Mapa izanomál na hladině 300 m nad terénem byla výchozím podkladem magnetického interpretačního schéma sestaveného autorem monografie pro tuto část Doupovských hor (obr. 6). Použitá magnetická mapa analytického pokračování ΔT vymezuje větší anomální celky a filtruje drobné anomality a tak podává reálný obraz o rozšíření větších vulkanických center a nahromadění neovulkanitů v mocných příkrovech či proudech. Zvolený způsob zpracování však neumožňuje plně využít měřítka mapování k vymezení drobných vulkanických objektů, zejména výstupových drah, drobných pňů apod. Toto zpracování tedy dává ucelený obraz celých Doupovských hor z hlediska rozšíření větších vulkanických objektů, ale pro potřeby podrobnějšího geologického výzkumu je méně vhodné než originální mapa přímo z výšky provedeného měření.

Výsledky staršího aerogeofyzikálního měření v sv. části Doupovských hor jsou naznačeny v Malkovského regionální monografii o severočeské terciární pánvi (nyní označované pánví mosteckou) a jejím okolí (ŠALANSKÝ in MALKOVSKÝ et al. 1985). Zde se poprvé uvádí význam lineárních erupcí systému střežovského zlomu pro vulkanologii Doupovských hor a upozorňuje se na nutnost přehodnocení interpretace stratovulkánu s jedním centrem. I když o tomto centru není pochyb a v aeromagnetickém obraze se potvrzuje, zároveň je patrný zásadní význam vzniku efuzí podél trhlin střežovského zlomového systému. Aeromagnetický obraz také ukázal na řadu indikací drobných výstupových izometrických struktur, často skrytých v areálech



Obr. 6. Doupovské hory. Aeromagnetometrie. Schéma rozložení silně magnetizovaných vulkanických hmot (lávy a magmatity). 1 – osa kladných či záporných hodnot anomálií ΔT , 2 – magnetická pásma vymezující souvislé nahromadění láv v příkrovech a proudech, případně mocné pravé žíly, 3 – indikace izometrických povrchových či skrytých vulkanických aparátů (komíny vyplněné lávou, maary, reliktu lávových příkrovů), 4 – předpokládané hlavní centrum stratovulkánu, 5 – indikace zlomu, 6 – hranice leteckého geofyzikálního mapování v roce 2001, 7 – hranice souvislého rozšíření vulkanických hmot na povrchu, 8 – roh mapového listu 1 : 25 000 (GK), 9 – nově sestavené základní geologické mapy 1 : 25 000 Stráž nad Ohří a Kadaň (HRADECKÝ et al. 2000, 2002).

nakupení příkrovů a pyroklastik, ale dobře se projevujících na periferii pohoří.

Na připojeném obr. 6 je interpretační schéma větších výskytů bazaltoidních láv v rozsáhlých příkrovech a proudtech, případně větší žilné a komínové struktury vulkanitů. I na hladině 300 m poskytuje magnetický obraz velký počet anomálií různé velikosti, tvaru, amplitud a polarity. Záporné hodnoty ΔT pokrývají většinu s. části Doupovských hor, kdežto j. polovina je charakteristická rozsáhlými plochami kladných hodnot s vysokými amplitudami prvních stovek nT. Stejně jako u staršího měření byly nejvyšší hodnoty ΔT naměřeny v blízkosti předpokládané centrální přívodní struktury v j. sousedství Doupova, kde přepočet udává na hladině 300 m ještě amplitudy 2000 nT. Ve starším měření z roku 1971 na hladině 50 m nad terénem byly přímo naměřeny hodnoty 8000 nT, což je vůbec nejvyšší letecky naměřená anomálie ΔT v České republice. Taková maxima mohou vyvolat jen extrémně magnetizované připovrchové horniny velkého objemu. Obsah magnetitu lze odhadnout z magnetického měření v hornině na 15–20 obj. %. K obohacení magmatických hornin ferimagnetickými minerály skupiny magnetit–ulvospinel např. mohlo dojít magmatickou gravitační diferenciací a horniny mohou obsahovat šmouhy až lité polohy těchto minerálů.

(hornina magnetitit). V areálu maxima anomálie u Doupo-
va se vyskytuje peň essexitu, zde původně označovaný ja-
ko theralit (ZARTNER 1938). Ve staré a ojedinělé chemické
analýze doupovského essexitu se uvádí 6 obj. % magnetitu
v hornině (TRÖGER 1939), což však nestačí k vyvolání tak
extrémní amplitudy anomálie ΔT .

Kolem doupovského centra stratovulkánu jsou vysoké anomálie způsobeny převážně mohutnými příkrovy bazaltů a foiditů. Souvislost příkrovů je porušována erozivními údolními depresiemi. Zejména v údolích vz. směru se nejvíce uplatňují účinky spodních hran příkrovových desek a vytvářejí intenzivní minima ΔT . Absolutními hodnotami tato minima mohou překračovat hodnoty maxim, neboť v tak členitém terénu dochází ke vzniku tzv. údolních anomálií. Měřeno je na úrovni spodních hran, nebo i ještě níže, tedy v blízkosti záporných pólů magnetizovaných příkrovových desek. Z celkového magnetického obrazu také vyplývá, že v Doupovských horách jsou vulkanické komplexy normálně magnetizovány. Inverzní magnetizace byla prokázána jen u ojedinělých bazaltoidů z komínů na periferii vulkanického pohoří (např. kopec Vladař u Žlutic).

Magnetický obraz v mapě analytického pokračování ΔT na úrovni 300 m ještě obsahuje místy indikace drobnějších vulkanických objektů. Ty vystupují jako ostrůvky klad-

ných hodnot ΔT z celkového záporného regionálního pole s. části pohoří. Rozhraní kladných a záporných hodnot probíhá po s. hranici radonické regionální magnetické zóny sledované v délce přes 20 km od Ohře u osady Stranná k Z přes Pětipsy, Radonice k osadě Žďár jv. od hory Lesná (811 m). Zde se pruh vulkanitů radonické zóny noří pod nejsevernější části příkrovů centrálního stratovulkánu. Paralelně s radonickou zónou jde jižněji další pásmo, sledovatelné od Žaboklik a Čejkovic v pětipeské části mostecké pánve směrem na Z na Chotěbudice, kde se noří pod mocná pyroklastika. Na Z od Obrovické hory (603 m) je další pokračování již zamaskováno mohutnými anomáliemi nej-mocnějších lávových příkrovů a proudů stratovulkánu. Obě vulkanická pásma vázaná na střezovský zlomový systém směru SV-JZ až Z-V jsou vyvolána magnetickými účinky lávových proudů z trhlínových efuzí označených „střezovským vulkanismem“ (FRANČE 1992). Vulkanické hmoty těchto lineárních efuzí se vedle tefry a láv stratovulkánu podstatně podílely na celkovém zastoupení vulkanické produkce. Z magnetického obrazu nelze rozhodnout, zda rozsáhlý anomální areál navazující na radonickou magnetickou zónu od vrcholu Strážště (778 m) do území j. od Velichova je jejím pokračováním, či již patří k příkrovům stratovulkánu.

Při předpokladu platnosti staré koncepce o jediném centru vulkanismu Doupovských hor by se musela radonická magnetická zóna považovat za účinek mohutného lávového proudu syceného z centrálního aparátu u Doupova a tekoucího k V a SV a vyplňujícího rozsáhlou starou údolní eocenní či oligocenní depresi. Tato alternativa je však příliš hypotetickou vzhledem k známým a geofyzikálně prokázaným vulkanickým centrům na střezovském zlomovém systému.

K indikaci lávového příkrovu či proudu centrálního aparátu však pravděpodobně náleží výrazné anomální pásmo sledované od Doupova přes kopec Dubina k Podhořanskému Rohozci. U kóty Dubina se z něho k J větví lineární anomálie vyvolaná dalším nahromaděním lávových hmot mezi kótami Dubina a Jedliny s. a sz. od obce Valeč.

Nejmocnější příkrovy vulkanitů vytvářejí vrcholové plošiny pohoří u kót Pustý zámek (927 m), Hradiště (934 m) a Vysoká hora (871 m). Zde na velkých plochách amplitudy ΔT překračují 500–1000 nT (naměřené hodnoty jsou ve skutečnosti mnohem vyšší). V magnetickém obraze je zřetelná prstencová struktura, v níž vnější prstenec tvoří kruhová magnetická deprese se středem u Lochotína o průměru 5–6 km. Její interpretace je obtížná pro malou geologickou prozkoumanost této části Doupovských hor. Jsou zde hojně zastoupena pyroklastika a j. okraje příkrovů a proudů. Nepravidelné ukončení souvislého lávového po-

kryvu se projevuje nepravidelným průběhem anomálního pole, které je zcela ovlivněno morfologií terénu. Větší objemy láv jsou magneticky indikovány v prostoru Těšetic v. od Bochova, rozsáhlejší relikty lávových příkrovů se magneticky vymezují na hřbetech kopců Vysoká Pláň (889 m) a východněji u kóty 911 m s. od Bochova.

Nepravidelný průběh ΔT v jv. části území je vyvolán relikty lávových příkrovů a proudů na hranici souvislého rozšíření neoidních vulkanických hornin a uloženin permo-karbonu mezi Buškoviciemi a obcí Valeč. V tomto území již lze vymezit z aeromagnetometrie izolovaná vulkanická centra (diatremy a maary). Skupina takových center vystupuje s. a sz. od Podbořan v pyroklastikách i sedimentech pětipeského neogenního zálivu.

Odlišný magnetický obraz poskytuje s. polovina Doupovských hor. Je charakteristická regionálním záporným polem ΔT . Z něho vystupuje řada větších či menších izolovaných kladných anomálií. Tyto představují buď erozivní relikty příkrovů centrálního stratovulkánu, nebo spíše samostatná vulkanická centra. Podrobnější, i když stále předběžná interpretace těchto anomálií na sekcích 11-221 Stráž nad Ohří a 11-222 Kadaň je obsažena v citovaných textových vysvětlivkách k novým geologickým mapám 1 : 25 000. Největší vulkanické areály se souvislým nahromaděním láv jsou v prostoru kopce Velká Jehličná (828 m), na hřbetu kóty 731 m jv. od osady Korunní, v okolí kóty 720 m j. od osady Velká Lesná j. od Klášterce nad Ohří a kolem Černého vrchu (678 m). Zajímavý je pruh nevýrazných kladných hodnot s řadou dílčích maxim od Tachova k V a od hory Lesná (811 m) k V, celkově v délce přes 12 km. Pásmo kopíruje terénní hřbet a může jít o relikty lávového proudu či příkrovu v převažujících magneticky nevýrazných pyroklastikách.

V severozápadní části areálu Doupovských hor jsou aeromagneticky potvrzeny větší objemy láv ve v. sousedství Ostrova, menší ještě dále v s. okolí města. Náznak kruhové struktury s průměrem asi 1,5 km je v magnetickém obraze naznačen asi 3 km zjz. od obce Velichov.

Pokud jde o magnetické indikace menších vulkanických objektů, zejména komínových struktur, je třeba vycházet z výsledků staršího měření na hladině 50 m. Takové indikace jsou uvedeny k citovaným vysvětlivkám listů Stráž n. Ohří a Kadaň.

Zajímavé je i porovnání staršího aeromagnetického měření v s. části Doupovských hor na výšce 300 m s novějším přepočtem na tuto hladinu. Měření poměrně dobře souhlasí ve vymezení magnetizovaných zdrojů i amplitudami ΔT . Přesto v tak magneticky nehomogenním prostředí neovulkanitů dává přesnější výsledky přímé měření na vyšší hladině než analytický přepočet.