

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE, PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA

Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užití geofyziky



Zpracování teplotních karotážních dat v oblasti Oháreckého lineamentu

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Jakub Schinkmann

Vedoucí: RNDr. Miroslav Kobr, CSc.

Konzultant: RNDr. Martin Procházka

Praha, září 2010

Abstrakt

Předmětem této práce bylo detailní zpracování dostupných teplotních karotážních dat z oblasti Oháreckého lineamentu, charakteristického svými teplotními projevy. Na základě podrobné selekce a oprav termometrických záznamů s využitím výsledků dalších karotážních metod bylo vybráno celkem 281 vrtů vhodných pro konstrukci teplotních map. Součástí práce jsou mapy geotermického gradientu a teplotních řezů celé oblasti Oháreckého lineamentu. Na základě těchto souhrnných map bylo pro podrobnější rozbor vybráno 6 menších území s anomálními teplotními projevy a dostatečným pokrytím karotážními daty, pro něž byly zpracovány i detailnější mapy geotermického gradientu a řezů ekvitemplotních ploch.

Anomálie a trendy geotermického gradientu byly srovnávány s některými dalšími geofyzikálně doložitelnými projevy a dále byly diskutovány širší souvislosti teplotního režimu ve zkoumané oblasti. Práce přináší nejen podrobné zpracování získaných termometrických dat, ale ukazuje také různé možnosti jejich vizualizace a snaží se o pochopení problematiky šíření tepla ve svrchních partiích zemské kůry v širším geologicko geofyzikálním kontextu.

Abstract

The aim of this work was to process in detail a thermometric well logging data set from the zone of the Ohárecký Lineament, which is known for its heat manifestation characteristics. On the basis of detailed selection and correction of the thermometrical data set, with regard to records of other well logging methods, a total of 281 wells suitable for the construction of thermal maps were selected. Geothermal gradient maps and thermal cross-sections of the whole Ohárecký Lineament zone are presented in this study. Based on these general maps were for purposes of more detailed analysis chosen 6 smaller zones with anomalous thermal manifestations and sufficient coverage of well log data. More detailed maps of the geothermal gradient and equitemperature cross-sections have been constructed for these zones.

Further, anomalies and trends of the geothermal gradient were compared with other geophysically documented manifestations and on the basis of their correspondence broader relationships of the thermal regime were discussed for the study area. The work not only presents detailed processing of the thermometrical data, but also illustrates the various visualization possibilities of this data and aims to understand heat flow in the upper parts of the Earth's crust in a wider geophysical and geological context.

Obsah

Abstrakt	2
Abstract.....	3
1. Úvod	6
2. Způsoby šíření tepla, základní pojmy a jednotky	8
3. Strukturně geologická situace a teplotní projevy Oháreckého lineamentu	10
3.1. Ohárecký lineament.....	11
3.2. Historický vývoj oblasti	12
3.3. Podrobný geologický popis hlavních jednotek studované oblasti	13
4. Metody geotermického průzkumu.....	16
4.1. Možnosti geofyziky v geotermické problematice	17
5. Metodika práce	19
5.1. Sběr dat.....	20
5.2. Selekce dat	22
5.3. Opravy naměřených hodnot.....	24
5.3.1. Opravy na proudění.....	24
5.3.2. Další příčiny deviací termometrické křivky	32
5.3.3. Selekce dat v jednotlivých oblastech vytyčeného území.....	34
6. Zpracování teplotních dat a vynesení do map	35
6.1. Mapy celé oblasti	35
6.1.1. Mapa teplotního gradientu oblasti Oháreckého lineamentu.....	35
6.1.2. Mapa teplotních řezů - skutečné teploty	39
6.1.3. Mapa teplotních řezů – hloubková extrapolace teplot.....	43
6.1.4. Mapa teplotních řezů - hloubková extrapolace teplot-absolutní hloubky	46
6.2. Zájmová území a mapy ekvitemplotních plochy	50
6.2.1. Teplotní charakter oblasti Oháreckého lineamentu.....	51
6.2.2. Teplotní charakter zájmových území	52
7. Diskuze výsledků.....	54
7.1. Zdroje zemského tepla	55
7.2. Faktory ovlivňující teplotní charakter území Oháreckého lineamentu:.....	56
7.2.1. Radioaktivita hornin.....	56
7.2.2. Litologické poměry a tektonika	61
7.2.3. Geologický vývoj oblasti	63

7.2.4.	Mocnost kůry a teplotní anomálie	66
7.2.5.	Přenos tepla fluidy a topografie	69
8.	Závěr	73
	Seznam použité literatury	75
	Seznam příloh	77

Poděkování

Termometrická data jsem měl možnost zpracovávat v prostorách a za využití vybavení společnosti AQUATEST a.s. Praha. Práce probíhaly pod vedením ředitele divize karotáže RNDr. Martina Procházky a s neopomenutelnou pomocí dalších odborných pracovníků této sekce, za což tímto vřele děkuji. Poděkování patří též RNDr. Miroslavu Kobrovi, který mi zpracování vybraného tématu navrhl a ujal se mé práce v roli školitele.

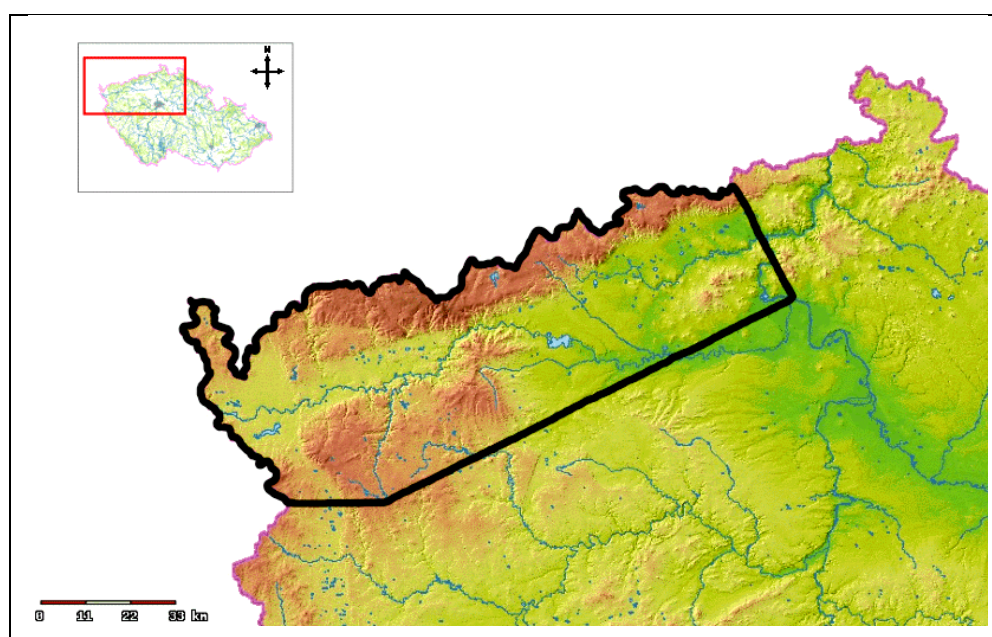
1. Úvod

Tento text vznikl ze zadání RNDr. Martina Procházky za účelem ověření předpokladu o geotermické výjimečnosti oblasti Oháreckého lineamentu, ležící při SZ okraji Českého masívu a navazující svou polohou na projekt Severočeská terma (2009), realizovaný pod vedením RNDr. Josefa Datla. K přiblížení představy o teplotních poměrech na tomto území o rozloze přibližně 5600 km² měla být použita dostupná karotážní termometrická data získaná v průběhu posledních zhruba čtyřiceti let ve vrtech Ohárecké zóny, a na jejich základě byla zkonstruována mapa geotermického gradientu. Zadání bylo dále rozšířeno o zpracování mapy hloubkových teplotních řezů a detailnějších map šesti menších zájmových území, charakteristických především zvýšeným teplotním gradientem, nebo geotermální aktivitou a dostatečně reprezentativním počtem vrtů. Jsou to část Chebské a Sokolovské pánve, okolí Mariánských Lázní, Karlových Varů, Teplic a část Doupovských hor. K vizualizaci výsledků měly být použity i řezy ekvitemplotními plochami ilustrující rozložení teplot s hloubkou. Předpokladem vytvoření kvalitních map bylo získání co největšího množství dostupných dokumentací k vrtům, korelace teplotních záznamů reprezentovaných teplotní křivkou s dalšími karotážními metodami a následné vyhodnocení použitelnosti dat a opravy termometrických křivek na proudění nebo jiné rušivé vlivy. Data bylo třeba upravit pro účely každé mapy zvlášť a po jejich umístění v souřadném systému, též zhodnotit jak reprezentují teplotní

charakter jednotlivých částí území a případně přezkoumat věrohodnost získaných výsledků. Výsledný soubor obsahoval dokumentace k 281 vrtům.

Dalším cílem mé práce bylo určení anomálií a trendů ve vývoji teplot dané oblasti a srovnání těchto výsledků s litologií, strukturními podmínkami a některými doplňujícími metodami geofyzikální prospekce. Na základě této analýzy mělo být usuzováno o širších souvislostech teplotního režimu na území Oháreckého lineamentu a provedena interpretace teplotních anomálií. Tato práce si tedy bere za cíl nejen průzkum oblasti na základě zpracování množství teplotně karotážních údajů, ale chce také poukázat na souvislosti mezi geotermickým charakterem a dalšími geofyzikálně prokazatelnými vlastnostmi této okrajové zóny Českého masívu.

Přesné vymezení námi studované oblasti, tedy Ohárecké zlomové zóny a jejího blízkého okolí, je vyznačeno na obrázku 1.



Obr. 1. Znázornění studované oblasti okolí Oháreckého lineamentu na v mapě ČR (převzato z free-top.tym.cz 2010).

2. Způsoby šíření tepla, základní pojmy a jednotky

Jednotlivé části Země vykazují různé teploty, a proto mezi nimi dochází neustále k přenosu tepla. Přenos tepla se uskutečňuje třemi způsoby: v důsledku tepelné vodivosti (kondukcí), pohybem zahřátých hmot (konvekcí) a tepelným vyzařováním (radiací), která hraje důležitou úlohu hlavně v oblastech vysokých teplot a uplatňuje se až pro hloubky větší než 100 až 120 km, kde se projevují vysoké teploty a tlaky. V takovém prostředí rychle stoupá tepelná vodivost hornin, avšak svou hloubkou nijak nezapadá do rozsahu této práce a nebudeme proto tento druh přenosu tepla dále uvažovat.

Přenos tepla konvekcí je způsoben pohybem hmot vlastního prostředí. Konvekce je dvojího druhu – přirozená a vynucená. V případě přirozené konvekce se hmoty přemísťují výlučně v důsledku teplotních rozdílů v různých místech soustavy, a tím vzniklých hustotních rozdílů. Veličina konvekce přitom vzrůstá se vzrůstajícím rozdílem teplot, koeficientem tepelné vodivosti prostředí, objemovou roztažností a klesá se vzrůstající viskozitou. Vynucenou konvekcí se hmoty přemísťují pod vlivem vnějších faktorů. Přenos tepla vynucenou konvekcí může sehrát významnější roli pouze v dobře propustných kolektorech tvořících těžný systém artéských podzemních vod. V tomto případě je vnějším faktorem hydraulický gradient (Mareš et al. 1975).

Přenos tepla kondukcí, který je nejběžnějším způsobem přenosu ve svrchních částech kůry a v pevných látkách vůbec, má atomově molekulární charakter. Teplo se předává v důsledku „vlnění“ krystalové mřížky.

Pod pojmem teplotní gradient rozumíme změnu teploty se vzdáleností. V geofyzice zavádíme pojem geotermický gradient, který vyjadřuje teplotní variaci, tedy rozdíl teplot (ΔT) se vzdáleností (z) měřenou kolmo na zemský povrch a lze jej tedy vyjádřit například takto:

$$G = \frac{\Delta T}{z}.$$

Generelně lze říci, že teplota roste s hloubkou. Průměrný gradient na Zemi v nejsvrchnějších částech kůry je $0,03^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}^{-1}$. Teplotní gradient je základním parametrem výpočtu množství tepla šířícího se Zemí směrem k povrchu. Experimentálně bylo zjištěno, že množství tepla, které se šíří kondukcí skrz plochu 1 m^2 během jedné vteřiny, je úměrné teplotnímu gradientu a lze psát:

$$q \sim \frac{\Delta T}{z}$$

k určení proporcionality lze zavést konstantu k , a rovnice pak vypadá následovně:

$$q = \frac{k \Delta T}{z}$$

To je rovnice tepelného toku q ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$), který, jak je patrné z výše uvedeného vztahu, nezávisí jen na teplotním gradientu, ale také na k , tj. vlastnosti materiálu, kterým teplo prochází. Můžeme tedy říci, že k (někdy označované jako λ) je materiálová konstanta uváděná v literatuře jako konduktivita, měrná tepelná vodivost nebo také součinitel tepelné vodivosti. Její rozměr je $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$.

Další jednotkou, spíše jen okrajově použitou v této práci, je součinitel teplotní vodivosti a ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$), který se též označuje jako měrná teplotní vodivost a charakterizuje rychlost vyrovnání teploty ve sledovaném horninovém prostředí a je roven poměru měrné tepelné vodivosti k a měrné tepelné kapacity c ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$) při konstantním tlaku podle vztahu:

$$a = \frac{k}{c\rho}$$

kde ρ je přirozená hustota hornin ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$).

3. Strukturně geologická situace a teplotní projevy Oháreckého lineamentu

Hazrdová (1981) ve své práci uvádí, že Český masív náleží ke geologicky stabilizovaným oblastem bez recentních vulkanických projevů a stejně tak bez povrchových vysokoteplotních geotermálních projevů. Teplotně anomální oblasti České republiky nelze srovnávat s žádnými klasickými geotermálními lokalitami světového měřítka. Žádný geotermální zdroj u nás nepřesahuje svou hodnotou teplotu 72°C , přesto geochemické rozbor termálních vod provedené Pačesem (1978) dokládají původ některých vod v prostředí s teplotou kolem 110°C . Tyto nízkoteplotní geotermální zdroje jsou již řadu let využívány pro rekreační účely a lázeňství. Řada takto využívaných zdrojů se nachází právě v oblasti Oháreckého lineamentu a jsou to například: Františkovy Lázně, Mariánské Lázně, Lázně Kynžvart, Karlovy Vary, Jáchymov, Teplice, nebo Bílina. Další využití geotermálních vod je v průmyslu, u nás například v Ústí nad Labem a Děčíně.

Termální prameny jsou prvním důkazem zvýšené geotermální aktivity, která se dá blíže zkoumat dalšími geofyzikálními metodami (viz kapitola 5. Metodika práce).

3.1. Ohárecký lineament

Ohárecký lineament má charakter kontinentální riftové zóny, což spočívá podle Škvora (1986) v několika kritériích. Morfologicky tvoří rifty příkopové struktury spojené často s výzdvihem širší oblasti. Jsou provázeny alkalickým vulkanismem hlubinného původu, negativní tíhovou anomálií a vyšším tepelným tokem. Zemská kůra bývá podél riftů zeslabená, rychlost seismických vln pod Moho je u známých riftů nižší. Geneze riftů není dosud jednoznačně vysvětlená. V zásadě se autoři shodují v tom, že rifty vznikají podél predispozic starých oslabených pásem (hlubinných zlomů) podkorovou aktivitou.

Ohárecký lineament je výrazné zlomové pásmo probíhající přibližně ve směru SV – JZ podél řeky Ohře. Riftová struktura je vyvinuta v délce 100 – 150 km v centrální části oslabeného pásma téhož směru, které je známo v délce přibližně 270 km. Šířka riftové zóny dosahuje 10 – 20 km. Morfologicky jde o jednostranně založený příkop. Geologicky tvoří hranici mezi střední částí Českého masívu a krušnohorské soustavy, která měla odlišný vývoj. Stáří iniciální struktury, podél níž se vytvořil neoidně rift, neznáme. V období svrchního proterozoika tvořila hlubinný zlom, který byl přívodním kanálem pro četné aparáty spilitového vulkanismu, jenž dal vzniknout masívům metabazitů. Právě tak granulity, vycházející na povrch v údolí Ohře, mohou být interpretovány jako metamorfované kyselé vulkanity vázané na uváděnou zlomovou zónu. Během cadomské a paleozoické metamorfózy byla uváděná zóna vysoce aktivní. Metamorfity v jejím průběhu vykazují metamorfózu a deformace vyšší než sousední Krušné hory. Oslabené pásmo bylo využito intruzí pozdně variských granitů. Je provázeno povariskou i neoidní mineralizací. Koncem svrchní křídly a během třetihor došlo podél uváděného starého lineamentu k platformní reaktivaci a vytvoření riftu. Pohyb podél oslabeného pásma a výstup Krušných hor při SZ okraji vedly k vytvoření krušnohorského prolomu, který byl vyplňován mladými sedimenty. Mladý alkalický vulkanismus se projevoval rozptýleně podél celého pásma. Dvě vulkanická centra - doupovský

stratovulkán a České středohoří jsou vázána na zóny překřížení příkopu s jinými hlubinnými zlomy (Škvor 1986).

3.2. Historický vývoj oblasti

Geologická aktivita Ohárecké riftové zóny nebyla podle Mrliny (1980) časově a prostorově rovnoměrná. Vzájemným působením rozdílně se vyvíjejících území dochází ke strukturním změnám na jejich styku a postupně se tak celá, původně jednolitá oblast, rozdělí na bloky se samostatným vývojem. Takto vzniklá stará rozhraní bloků označujeme jako hlubinné zlomy – lineamenty, jakým je například litoměřický zlom, který se v jednotlivých epochách stával výstupní drahou pro bazický, ale i kyselý vulkanismus, představovaný mariánskolázeňským metabazitovým komplexem, kyselými granitoidy a tercierními bazalty a fonolity. Důkazem hlubinnosti zlomu je výskyt ultrabazických těles hadců a mladších pyroponosných ultrabazických a alkalických hlubinných hornin na JV okraji Českého Středohoří. Mladším zlomem je například jáchymovský, jenž sehrál důležitou roli především při variských intruzích granitů. K nejmladším rupturám patří podkrušnohorský a centrální zlom. První z nich dosahuje pravděpodobně k Moho-diskontinuitě a spolu s litoměřickým lineamentem omezuje Oháreckou tektono-vulkanickou zónu, mající určité znaky riftové struktury. Centrální zlom se stýká s litoměřickým nejspíše na Conradově diskontinuitě a je přívodní drahou kyselejšího vulkanismu (trachyt, fonolit). Naše zájmové území se nachází na rozhraní dvou bloků – krušnohorského a tepelsko-barrandienského.

Historický vývoj lze sledovat od svrchního proterozoika, neboť o jeho podloží můžeme vyslovovat pouze hypotézy. Svrchní proterozoikum představuje etapu, kdy se na okrajích platform začaly vytvářet geosynklinály. Takovou zónou byla tepelsko-barrandienská oblast, v níž sedimentovala spilitová série o mocnosti až 8 km. V Krušných horách není svrchní proterozoikum známo (oblast byla patrně

mírnou elevací). Intraalgonkická fáze assyntského vrásnění zúžila barrandienský sedimentační bazén, sedimenty byly vrásněny a v blízkosti oslabených zón i metamorfovány. Naproti tomu v Krušných horách došlo k rychlé subsidenci a sedimentační cyklus zde trval až do variské etapy orogenetických pochodů. Variská aktivita tady způsobila vrásnění a metamorfózu, doprovázené rozsáhlými intruzemi granitů. V celé oblasti, doprovázené oběma hlavními orogenetickými fázemi, převládají tektonické směry SV - JZ. Počínaje permem se celý Český masív přeměnil v epiplatformu a teprve v křídě byla aktivita znovu oživena. Projevy alpinského vrásnění v podobě saxonské zlomové tektoniky způsobily výstup Smrčín a Krušných hor a zaklesnutí podkrušnohorského prolomu. V takto vzniklých pánvích sedimentovaly tercierní uloženiny s uhelnými slojemi. Tektonická aktivita zapříčinila zvláště v miocénu alkalický bazaltový vulkanismus, který však postupně slábl a v kvartéru byl ukončen (Mrlina 1980).

3.3. Podrobný geologický popis hlavních jednotek studované oblasti

Tepelské antiklinorium je tvořeno předspilitovou a spilitovou sérií algonkia, které bylo postiženo assyntským vrásněním a metamorfózou různého stupně. Nemetamorfované vulkanosedimentární komplexy přecházejí přes fylity do svorových a rulových hornin, v nichž se na různých lokalitách (zvláště na SZ okraji oblasti) objevují vložky amfibolitů, dioritů, eklogitů a dalších typů hornin. Mrlina (1980) dále uvádí, že v osní části antiklinoria vystupují silně migmatitizované žuloruly až ortoruly, jejichž obdobu lze nalézt ve Slavkovském lese. Slavkovský les představuje geologickou jednotku, jejíž pozice na rozhraní krušnohorského a tepelsko-barrandienského bloku je stále diskutovanou a dosud nevyřešenou otázkou. Za hranici krušnohorského a tepelsko-barrandienského bloku musíme považovat litoměřický hlubinný zlom, což potvrzují geofyzikální interpretace. Slavkovský les patří tedy dle tohoto hlediska k bloku krušnohorskému (tj. k oblasti krušnohorsko-durynské). Centrální část

slavkovského lesa má klenbovitou stavbu, protaženou ve směru V - Z. Je tvořena slavkovským jádrem, nejstarší jednotkou oblasti, představující katazonálně metamorfovanou staroproterozoickou sedimentární sérii, postiženou migmatizací. Důsledkem migmatizace je přítomnost mnoha horninových typů rulového charakteru přes migmatity až ke granitoidům. Granitizace postihla i mariánskolázeňský metabazitový komplex, kde přeměnou původní spilitových vyvřelin a tufů vznikly různé druhy amfibolitů, které v místech nejsilnější granitizace přecházejí do hornin dioritového charakteru. Na JV okraji komplexu se vyskytují eklogitové amfibolity až eklogity, jež indikují zónu hlubinné metamorfózy. Tektonické poruchy převládajících směrů V – Z se projevují dvěma liniemi hadcových proniků.

Mladší jednotkou je takzvaná série Slavkovského lesa, tvořená polohou kvarcitu, v jejímž nadloží se nachází komplex pararul a rohovců. Tato jednotka, podobně jako S a SZ okraj metabazitového komplexu, je proniknuta polohami horské žuly karlovarského masívu. V některých místech vystupují intruze krušnohorské autometamorfované žuly, na jejíž apikální části je vázáno Sn – W zrudnění. Stáří série Slavkovského lesa zatím nebylo přesně určeno, předpokládá se příslušnost buď ke spilitovému stupni algonkia nebo k eokambriu. Určení stáří jednotlivých formací je velmi ztíženo překrýváním se assyntské a variské tektonogeneze, zkomplikované navíc postorogenními intruzemi granitů karlovarského masívu ve dvou fázích (starší horská žula a mladší krušnohorská autometamorfovaná žula). V mesozoiku byla kra Slavkovského lesa vyzdvižena a poté zarovnána. Během oligocenu došlo k oživení starších tektonických linií VSV – ZJZ a SSZ – JJV při sávské fázi saxonské tektoniky, která způsobila stoupavý trend oblasti v západní části a klesavý v části východní. Na západě je Slavkovský les omezen Chebskou pánví, na severu karlovarským plutonem, na severozápadě Sokolovskou pánví. Sokolovská pánev odděluje Slavkovský les od Krušných hor a vznikla v terciéru působením saxonské zlomové tektoniky jako jednostranně zaklesnutý prolom podle podkrušnohorského zlomu. Její výplň tvoří nejstarší různě mocné (do 35 m) starosedelské vrstvy a následuje plošně nejrozsáhlejší sloj Josef

(mocnost do 15 m). Mladším útvarem je souvrství jílu s příměsí tufového materiálu, obsahující sloje Anežka a Antonín, z nichž poslední je nejmocnější uhlonosnou slojí (do 30 m). Sedimentační cyklus uzavírá někdy až 100 m mocné souvrství cyprisových jílu. Kvartérní uloženiny jsou zastoupeny terasami s náplavy řeky Ohře a jejích přítoků.

Západní část Krušných hor představuje axiální depresi krušnohorskosmrčinského antiklinoria, oddělenou jáchymovským zlomem vůči elevaci ve východní části. S odlišnou strukturní pozicí souvisí rozdíly v litofaciálním a metamorfním vývoji. Východní část představuje vyšší metamorfní zóny pravděpodobně algonkitských sérií assyntského cyklu. Ke staršímu paleozoiku, patrně ordoviku, jsou řazeny série fylitů a fylitických břidlic. Tato série směrem do podloží přechází pozvolným metamorfním přechodem do svorů až svorových rul sporného stáří, označovaným jako hraniční série. Krystalinikem prostupují tělesa pozdně variských granitů obdobného charakteru jako ve Slavkovském lese. Podle některých představ mohou všechny masívy představovat součást jednoho rozsáhlého a spojitého tělesa, nazývaného karlovarským plutonem, jehož stropní hladina se nachází většinou mělko pod povrchem. Názory na spodní hranici se pohybují od několika málo km až po hloubky 10 – 20 km. Současný reliéf oblasti je v důsledku oživení hlavních poruchových směrů VSV – ZJZ a SSZ – JJV saxonskou tektonickou fází, jež ovlivnila i ostatní směry variské i starší. S tercierní poklesovou tektonikou souvisí i bohatá vulkanická činnost, představovaná stratovulkánem Doupovských hor rozsáhlou vulkanickou činností Českého středohoří i dalšími ojedinělými erupcemi jak v bloku krušnohorském, tak tepelsko-barrandienském. Většina těchto vulkanických projevů souvisí pravděpodobně se společným zdrojem (přívodním kanálem), kterým je litoměřický hlubinný zlom (Mrlina 1980). Severovýchodní ukončení Ohářeckého riftu je porušeno výraznými diagonálními zlomovými liniemi a současně hlubokým zlomovým pásmem subekvatoriálního směru. Tato tektonicky exponovaná zóna s platformními sedimenty překrývajícími styk

strukturně odlišných oblastí fundamentu Českého masívu také vykazují (podle Myslíla 1986) zvýšené hodnoty tepelného toku.

4. Metody geotermického průzkumu

Vyhledávání geotermicky anomálních oblastí lze provádět na základě různých, převážně geofyzikálních metod, ale i s využitím dalších poznatků a zkušeností. K prvnímu vytipování území se zvýšenou termální aktivitou vede většinou řada typických znaků, jako jsou geologický vývoj oblasti (s přihlédnutím na stáří tektonovulkanické činnosti), výskyt hydrotermálních lokalit, tvoření sintrů a znalost území z hlediska využívání geotermální energie. Oblast Ohárecké riftové zóny je oblastí známou svou zvýšenou geotermální aktivitou, což dokládají přírodní i umělé vývěry silně ohřátých vod. Dalšími znaky dokládajícími podezření o anomálně teplotním charakteru území jsou například tercierní vulkanismus a mladá tektonika. Pro bližší průzkum takto vytipovaného území může sloužit řada geofyzikálních metod, ale i další mimo oborové metody, jakou je například geochemická prospekce. Hazrdová et al. (1981) uvádí některá kritéria, která bývají spolehlivým ukazatelem geotermálních systémů o vysokých teplotách. Jsou to: kombinace koncentrace Na, Ca, K, obsah kyseliny křemičité a stabilní izotopy. Chemické metody využívají toho, že při zvýšených teplotách se zvyšuje rychlost chemických reakcí a tím se zvyšuje možnost, že chemické složení vod dosáhne chemické rovnováhy s minerály v okolních horninách. Z rovnovážného chemického složení vod lze pak zpětně vypočítat teplotu vody, při které bylo rovnováhy dosaženo. Ani při použití různých chemických indikátorů však není interpretace jednoznačná a snadná.

4.1. Možnosti geofyziky v geotermické problematice

Dalšími geofyzikálními metodami využitelnými při řešení otázek geotermického charakteru jsou (kromě vrtní termometrie) také například teledetekční termometrie, gravimetrie, magnetometrie, hlubinná seismika, magnetotelurika a v neposlední řadě elektrické metody. Ty mohou poukazovat na některé přírodní jevy spojené s teplotní deviací studované oblasti.

Geoelektrické metody jsou podle Hazdrové et al. (1981) založeny na zkušenosti, že elektrická vodivost hornin vzrůstá se vzrůstající teplotou. V geotermálních oblastech však elektrická vodivost narůstá též se stupněm metamorfismu. Také termální vody s vyšším množstvím rozpuštěných látek mají často větší vodivost než málo mineralizované nebo chladné vody. Vztah mezi vodivostí a teplotou tedy není jednoduchou úměrnou závislostí a interpretace může být nejednoznačná.

Jako jednu z použitelných metod geofyzikálního průzkumu uvádí Šamsula například teledetekční metody. Jsou to pasivní letecké snímací metody využívající viditelné a infračervené oblasti spektra. Zařízení pořizuje fotografie v různých spektrálních pásmech v závislosti na zadaném úkolu. Infračervené termální snímače detekují přímo povrchové teplotní anomálie. Je to umožněno tím, že všechna tělesa s teplotou vyšší než absolutní nula vyzařují energii ve formě elektromagnetického záření. Maximum monochromatického vyzařování se s rostoucí teplotou posouvá ke kratším vlnovým délkám. Tato metoda však nedává žádné údaje o průběhu teplot do hloubky a může tak sloužit jen k odhadu konkrétních anomálních míst.

Gravimetrii, která je velmi užitečná pro zpřesnění informací o průběhu, velikosti a hlavně hloubkách geologických těles, je možné použít jako vhodnou doplňující metodu v problematice této práce. Její aplikací lze podle Šamsuly řešit hlavně následující úkoly:

- 1) Tektonické rajonování oblastí, vymezení hlavních tektonických linií, které mohou být příznivé pro cirkulaci teplých podzemních vod.
- 2) Určování mocností sedimentárních pokryvů a vyhledávání struktur vhodných pro podzemní akumulaci termálních vod, ať již s volnou hladinou, nebo artézského typu.
- 3) Rozlišení charakteru a hloubky podloží pod nekonsolidovaným obalem zemské kůry, zvláště pak rozlišení granitických, bazických a ultrabazických hornin a vyhledávání vulkanických a plutonických těles, vyskytujících se v oblastech zvýšeného tepelného toku.
- 4) V prostorách bez sedimentárního pokryvu vyhledávání oblastí o snížené hustotě se zvýšeným tektonickým porušením a podobně.
- 5) Kvantitativní interpretaci struktur, kde jsou známy dostatečně přesně výchozí parametry pro řešení těchto úloh.

Tyto struktury mohou mít zásadní vliv na teplotní režim přípoверхové části zemské kůry. A jejich na jejich případnou indikaci by měl být brán zřetel při vyhodnocování dalších geotermických údajů.

Hlubinné seismické sondování a Magnetické mapování jsou spíše okrajové metody pro řešení úlohy stanovení teplotně anomálních oblastí a jejich případného využití. První z nich se nepoužívá k řešení otázky mocnosti kůry, ale umožňuje i lokalizaci hlubokých zlomů, které mohou za určitých podmínek sloužit jako predominantní zóny výnosu tepla k povrchu. Magnetické metody dovolují rozčlenit různé petrografické typy vulkanitů i různé formy vulkanické činnosti ve vulkanických komplexech a určit tak, jaký podíl má mladý vulkanismus ve zkoumané jednotce.

Karotážní metody, zejména termometrie, která je nejdůležitějším zdrojem informací pro tuto studii, jsou hlavním a zatím nejpřesnějším ukazatelem geotermických procesů probíhajících pod povrchem Země. Teplotní křivka podává informace o teplotě ve vrtu, která se však může výrazně lišit od teploty horninového masívu. Pro realizaci oprav je proto nezbytné využít i další

karotážní metody sledující cirkulaci podzemních vod (metoda ředění označené kapaliny, průtokometrie).

5. Metodika práce

Z předešlého textu vyplývá důležitost korelace více geofyzikálních metod pro co nejpřesnější popis studované oblasti v kontextu dané problematiky. Přesto byl rozsah této práce zúžen hlavně na výsledky karotážních měření a srovnání s ostatními metodami je spíše okrajové. Zdrojem informací ke stanovení teplotního gradientu v jednotlivých částech Ohárecké zóny byly tedy hlavně výsledky termometrie a dalších karotážních metod pořízených ve vrtech dané oblasti. Vrty jako hlubinné sondy jsou obecně považovány za nejspolehlivější zdroj dat v této problematice a právě díky hloubkovému dosahu může karotáž podrobněji popsat teplotně anomální části vytípaných oblastí. Z těchto dat byly s ohledem na litologii, hydrogeologické, strukturní a jiné podmínky ve vrtech stanoveny hodnoty geotermických gradientů a ty následně vyneseny do map. Mapy byly dále porovnávány s geologickou a strukturní situací sledované oblasti, s topografií, mapou radioaktivity hornin a mapou tíhových anomálií. Na základě korelace těchto výsledků bylo usuzováno více o geotermickém režimu v oblasti Oháreckého lineamentu a o vztazích a závislostech výsledků termometrie s ostatními metodami.

V této práci jsem se omezil jen na stanovování hodnot geotermického gradientu, nikoliv tepelného toku, jak učinili někteří autoři přede mnou. Hlavním důvodem je problematika určování teplotní vodivosti hornin v jednotlivých místech měření, které by bylo technicky a časově velmi obtížné a svou náročností by tak překračovalo rozsah této diplomové práce. V případě přibližných odhadů hodnot konduktivity hornin, bychom mohli přijít o přesnost stanovených gradientů

a práce by tak byla částečně znehodnocena. Výpočet gradientů byl proto shledán dostačujícím pro určení teplotního charakteru v oblasti Oháreckého riftu.

5.1. Sběr dat

Mým úkolem bylo získání co největšího množství použitelných karotážních dat, jejich selekce, podrobná analýza a zpracování. Potřebná data byla obsažena ve zprávách k jednotlivým vrtům. Zprávy byly členěny ve složkách většinou po několika vrtech a zpravidla podle náležitosti k určitému úkolu, datu a místu. Složky byly dostupné buď v tištěné, nebo elektronické podobě. Většinu tištěné dokumentace jsem získal v archivech společnosti AQUATEST a.s. a jednalo se především o zprávy k vrtům, které nebyly doposud zaneseny do celostátní relační databáze Geofondu ČR. Přestože zpracování údajů bylo časově náročnější, měly tyto zprávy tu výhodu, že obsahovaly kromě karotážních křivek i doprovodný text, který často výrazně usnadňoval posuzování teplotního režimu ve vrtu. Byly to zejména přílohy s popisem měřených hodnot a celkového stavu vrtu, nebo křivky rezistivimetrie a fotometrie měřené po úpravě vody ve vrtu (metoda ředění označené kapaliny). Ty asi nejlépe dokumentují místa přítoku či odtoku vody do vrtu resp. z vrtu. Velmi užitečným se v mnoha případech ukázal též záznam o litologii, která byla popsána a graficky vyznačena podél osy vrtu. V těchto tištěných složkách však chyběly souřadnice vrtů a ty bylo zapotřebí dohledat v archivech databáze Geofondu, případně je s pomocí některého ze zaměstnanců AQUATESTU, který se přímo účastnil měření, odečíst z mapy. Druhá část karotážních dat dostupná v elektronické podobě umožňovala snazší a rychlejší odečítání teploty z naměřených křivek. Ačkoliv znatelně chyběla textová dokumentace a stejně tak údaje o litologii, potřebné informace pro objasnění vývoje teploty s hloubkou se daly většinou vyvozovat i z ostatních křivek karotážního měření. Byly to především odporové metody (rezistivimetrie

a laterolog), radionuklidové metody (neutronová, gama-gama metoda a metoda měření přírodního gama-zářením), kavernometrie a fotometrie.

Získal jsem 425 dokumentací k vrtům, které svou polohou spadaly do zájmové oblasti a splňovaly základní podmínky pro použití v mé diplomové práci. Z toho byla většina tištěných zpráv, část záznamů v digitální podobě a 10 hodnot bylo převzato z diplomové práce Jirovské (2000).

V případě zpráv v elektronické formě zanesených v databázi jsem vybíral konkrétní vrty (bez ohledu na jejich náležitost ke složkám). Výběr vrtů podle minimální hloubky a podle existence termometrických dat jsem uskutečnit filtrací v tabulkovém procesoru Microsoft Excel. K zjednodušení výběru vrtů podle jejich polohy jsem využil geometricky jednoduché hranice zájmového území. Geograficky je totiž oblast mého výzkumu ze tří stran ohraničena úsečkami, které tvoří spojnici přibližně mezi Teplou, Litoměřicemi a státními hranicemi. Znalost souřadnic (v souřadnicovém systému Křovák) okrajových bodů těchto úseček jsem využil k filtraci vrtů a to výpočtem rovnic přímek, na nichž úsečky leží a přiřazením hodnoty (1 nebo 0) každému vrtu podle jeho polohy vůči dané přímce, tedy nachází-li se pod nebo nad přímkou tvořící hranici území.

Zápis v tabulkovém operátoru:

$$=IF((X-k_1)>(b*(Y-k_2));1;0),$$

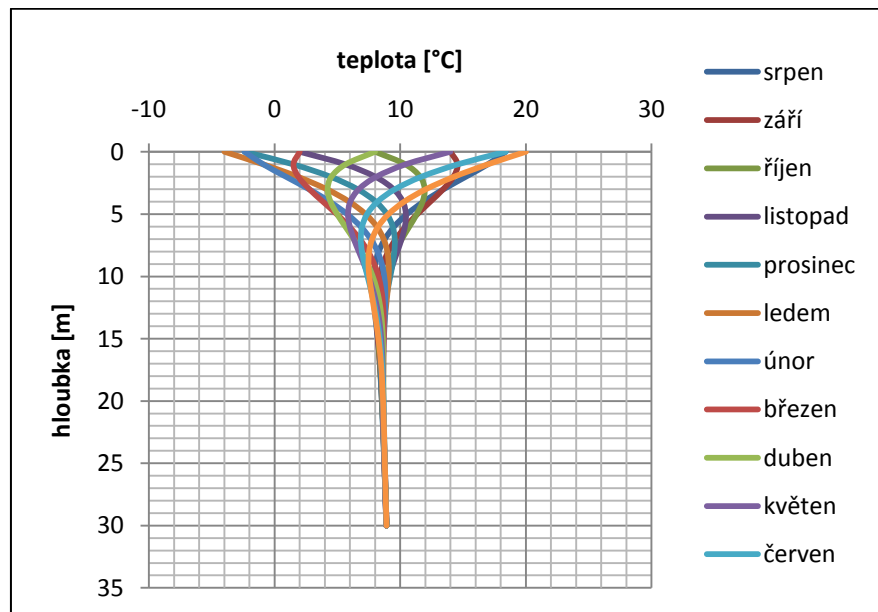
kde $k_1 = 996466$, $k_2 = 763905$ a $b = 0,398$ jsou hodnoty vyplývající z poloh okrajových bodů úsečky. Procesor pak přiřadí hodnotu 1 vrtům ležícím na vytyčeném území a hodnotu 0 těm, které spadají mimo.

Zbytek hranice zájmového území je totožný s hranicí České Republiky, což selekci dat podle polohy vrtu značně zjednodušuje. Na cizím území totiž nebylo provedeno žádné měření zanesené v této databázi.

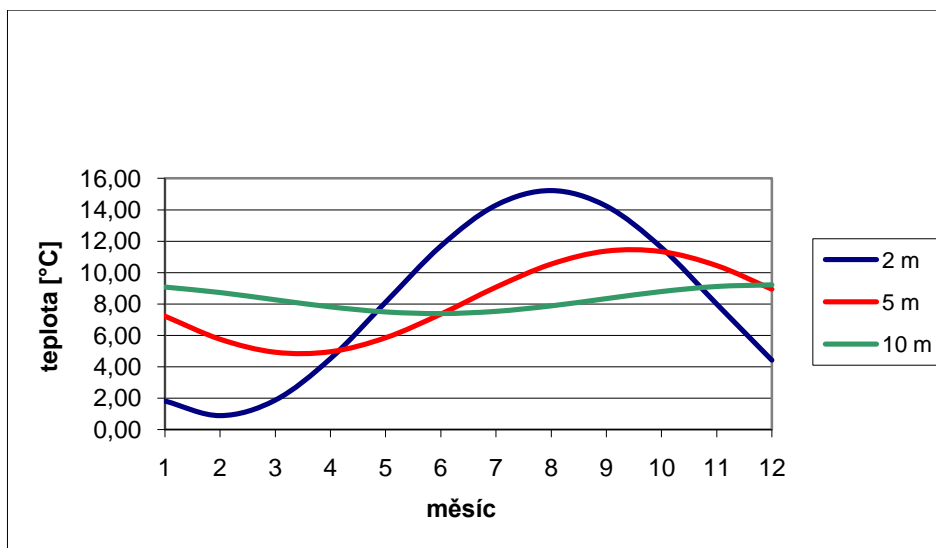
5.2. Selekce dat

Všech 425 vrtů vybraných k dalšímu zpracování muselo splňovat následující kritéria:

- 1) Minimální hloubka vrtu je větší než cca 30-50m (podle významnosti vrtu, tzn. s přihlédnutím k hustotě dat v dané oblasti). Do 20-30 m může být průběh teploty ve vrtu ovlivněn meziročními výkyvy teplot na povrchu, jak je patrné z obrázků 2 a 3, které ilustrují teoretický vývoj teploty směrem do hloubky v jednotlivých měsících v roce.
- 2) Součástí karotážních měření na vrtu je termometrie.
- 3) Vrt svou polohou přibližně spadá do zájmového území.
- 4) Tvar termometrické křivky se podle prvního odhadu zdá použitelný pro další zpracování.



Obr. 2. Teoretické rozložení teploty pod povrchem země pro jednotlivé měsíce během jednoho roku. Rozsah teplot vzduchu je -5 až +20°C, geotermický gradient $0,03 \text{ } ^\circ\text{Cm}^{-1}$, součinitel teplotní vodivosti $1,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ a rozsah hloubek 0 až 30 m.



Obr. 3. Periodická změna teploty země pro jednotlivé měsíce během jednoho roku v konstantní hloubce 2, 5 a 10 m pod povrchem. Vstupní hodnoty jsou stejné jako u obrázku 2: teplota vzduchu -5 až +20°C, geotermický gradient $0,03 \text{ }^\circ\text{Cm}^{-1}$, součinitel teplotní vodivosti $1,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ a rozsah hloubek 0 až 30 m.

Teplotní záznam je v dokumentaci každého vrtu prezentován formou spojitě křivky, na které jsem v případě tištěných dokumentací odečítal teploty ve zvolených hloubkách s pomocí přiložené stupnice a převáděl je na absolutní hodnoty ve $^\circ\text{C}$. Každému měření však předcházelo zhodnocení spolehlivosti a věrohodnosti dat na základě termometrické křivky, jejího tvaru a teplot kterých dosahovala.

Jedním z rozhodujících faktorů použitelnosti termometrického záznamu je ustálenost teplotního režimu v daném vrtu. Pod pojmem ustálený teplotní režim rozumíme případ, kdy se teplota kapaliny ve vrtu vyrovnala s teplotou okolních hornin. Měření je třeba provést teprve za určitou dobu po skončení vrtných prací. Vyčkávací doba se pohybuje podle hloubky vrtu, průměru vrtu a způsobu výstroje od jednoho týdne do několika měsíců. Měření, které bylo provedeno během vrtných prací nebo krátce po jejich skončení, představují teplotní měření za neustáleného teplotního režimu (Mareš 1976). O ustálenosti teplotního režimu lze usuzovat z tvaru termometrické křivky s přihlédnutím k ostatním možným

ovlivňujícím faktorům. Byla-li křivka výrazněji porušena (tj. vychýlena od přirozeného průběhu teplotního gradientu) na většině své délky a těmto poruchám neodpovídal žádný jiný ovlivňující faktor, jednalo se často o neustálený teplotní režim a takové měření jsem po konzultaci vyloučil ze zpracování. Důležitým vodítkem pro vyloučení teplotní křivky ze zpracování bývá i poznámka v textu zprávy k vrtu, která většinou obsahuje údaje o podmínkách měření a uvádí, zdali neprobíhalo měření například ve výplachu, po vysunutí vrtných tyčí, zdali nedocházelo k expanzím plynu během měření a podobně.

5.3. Opravy naměřených hodnot

Při termometrickém měření ve vrtech nejde o záznam teploty horninového prostředí přímo, ale měří se teplota kapaliny obsažené ve vrtu. Z toho vyplývá, že:

- 1) Teploty prostředí lze měřit až od hloubek pod hladinou podzemní vody
- 2) Případné proudění vody ve vrtu má rozhodující vliv na naměřené teploty.

5.3.1. Opravy na proudění

Vertikální pohyb kapaliny ve vrtu (nebo přesněji pohyb kapaliny podél osy vrtu) pozorujeme všude tam, kde byl vrtem zastižen zvodněný artéský obzor s pozitivní výtlačnou úrovní (vrty s přítokem) nebo tam, kde byly zastiženy alespoň dva (nebo více) obzory s rozdílnou výtlačnou úrovní. I když takovýto pohyb obvykle označujeme jako přirozený, není to úplně přesné, protože příčinou tohoto pohybu je lidský zásah do přírodních podmínek, který vyvolává

hydraulický zkrat mezi dvěma horizonty nebo mezi jedním horizontem a povrchem. Takový zásah v podobě vrtu může usnadnit i přitékání vody v rámci jediného kolektoru, například v oblastech infiltrace, jak doplňuje Martin Procházka (osobní sdělení). Místa přítoků vody do vrtu, místa ztrát i úseky s vertikálním pohybem se projevují obvykle velmi zřetelně na záznamech měření termometrie. Je to způsobeno tím, že teplota vody je obvykle dána teplotou hornin v místě přítoku a ta se řídí průběhem geotermického gradientu. Čím hlouběji se místo přítoku nachází, tím vyšší teplotu má přitékající voda. Hloubkové intervaly, ve kterých existuje přirozený pohyb kapaliny podél osy vrtu, se projevují na teplotních záznamech konstantní nebo téměř konstantní teplotou a to i při poměrně malých vertikálních průtocích řádu 10^{-1} l s^{-1} , tj. $10^{-4} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Mareš 1976 b).

Často lze však termometrickou křivku ovlivněnou prouděním vody opravit a získat tak průběh teplotního pole horninového prostředí bez vlivů proudící kapaliny. Mareš (1976 b) doporučuje rozdělit hydrogeologické vrty do pěti základních kategorií (A až E), na kterých si opravy na proudění ukážeme a které jsou rozděleny do následujících kategorií:

- A) vrty se samovolným přetokem při ústí vrtu,
- B) vrty se zakleslou hladinou, ve vrtu převládá přirozený vertikální pohyb kapaliny směrem k ústí vrtu, tj. zvodnělé obzory uložené v menší hloubce mají nižší výtlačnou úroveň než zvodněné obzory uložené v hloubce větší,
- C) vrty se zakleslou hladinou, ve vrtu převládá pohyb kapaliny směrem k čelbě vrtu, tj. zvodnělé obzory hlouběji uložené mají nižší výtlačnou úroveň než zvodněné obzory zastižené blíže k povrchu,
- D) vrty se zakleslou hladinou, ve vrtu se projevuje převážně pohyb kapaliny kolmo k ose vrtu (projev filtrace),
- E) vrty se zakleslou hladinou, ve vrtu neexistuje žádný přirozený pohyb kapaliny (ani vertikální, ani horizontální).

Na obrázku 5 je pro jednotlivé kategorie znázorněn schematický charakter teplotního záznamu termometrie, charakter záznamů rezistivimetrie RM po úpravě vody chloridem sodným a charakter záznamů fotometrie FM po vytvoření barevných značek.

A) vrty s přetokem

Kategorie A), vrty se samovolným přetokem při ústí vrtu, tvoří zvláštní skupinu nepříliš vhodnou pro stanovování geotermického gradientu, avšak z důvodu nedostatku dat nezbytnou pro zařazení do této práce. Vrt s přetokem je takový vrt, který protíná jednu nebo více napjatých zvodní, kolektorů s piezometrickou hladinou ve vyšší nadmořské výšce než je výška ústí vrtu. Dochází-li mezi takovým kolektorem a vrtem alespoň částečně k volnému pohybu podzemní vody, voda přitéká do vrtu a na karotážních křivkách lze rozpoznat místa přítoků (což bylo často komentováno také v dokumentaci k vrtu). Vydatnost takových přítoků je

$$Q = \sum_{i=1}^n Q_i,$$

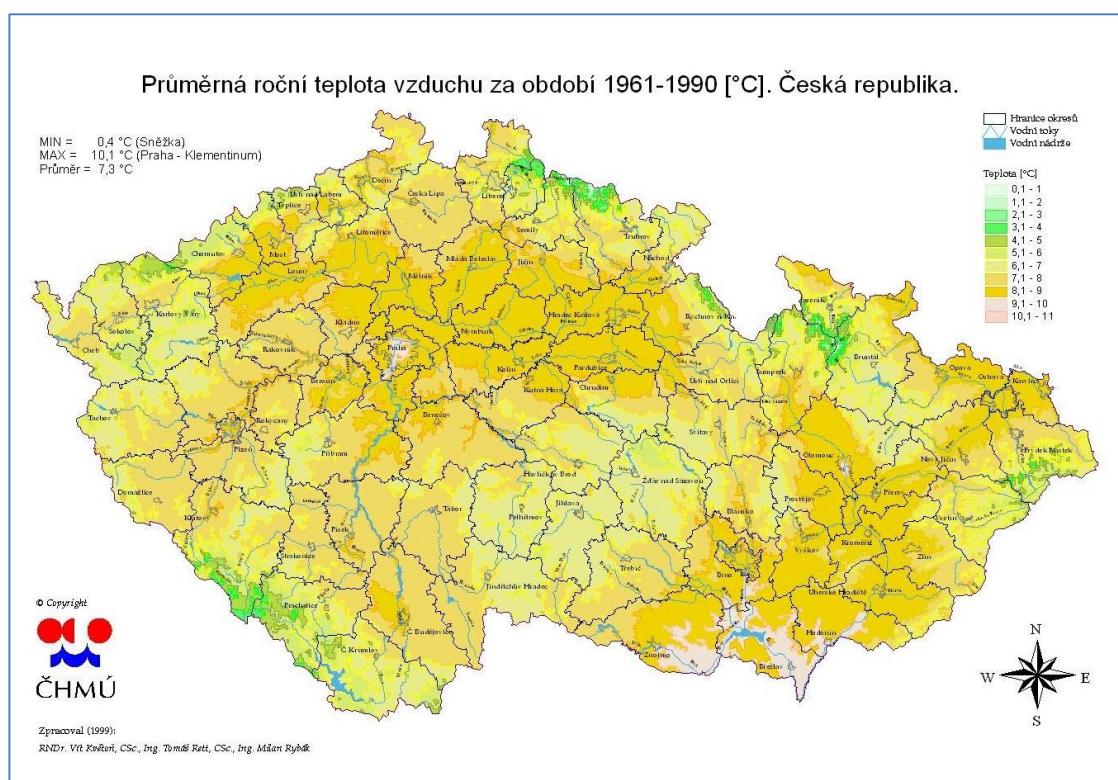
kde n je počet zmíněných kolektorů, $i = 1 \dots n$, Q_i je i -tý přítok vody do vrtu. Vrt s přetokem musí splňovat ještě další podmínku a to tu, že nekomunikuje s kolektory a propustnými zónami s nižší piezometrickou hladinou, kterými by voda z vrtu mohla odtékat. Zdefinujeme-li si Q' jako sumu vydatností všech odtoků z vrtu, musí platit:

$$Q' < Q.$$

Jinými slovy, do vrtu více vody přitéká, nežli odtéká. Hladina vystoupí do výtlačné úrovně, která je za těchto podmínek nad úrovní terénu, což se projevuje přetokem podzemní vody u ústí vrtu a podle Petránka (1993) se tedy jedná o artéský vrt. Vrty s přetokem neboli artéské vrty, jsou při dostatečné rychlosti vertikálního proudění směrem k ústí vrtu, relativně snadno rozpoznatelné z průběhu termometrické křivky. Ta se od místa přítoku směrem k ústí vrtu vždy

projevuje nulovým nebo jen velmi malým poklesem teplot a ve svrchních polohách zpravidla zaznamenává nápadně vysokou absolutní teplotu.

Při zjišťování geotermického gradientu horninového prostředí za použití termometrie v artéských vrtech jsem postupoval podle ústního doporučení Procházky, a to tak, že jsem odečetl teplotu u dna vrtu (ta podle Mareše 1976 odpovídá teplotě horninového prostředí v dané hloubce), případně jsem analyzoval celý úsek termometrické křivky pod nejhlubším přítokem. V případě jediného teplotního údaje u dna vrtu jsem jako druhou hodnotu, nezbytnou pro výpočet gradientu, použil průměrnou roční teplotu vzduchu v daném místě a přiřadil ji hloubku $h = 0$ m. K tomu jsem použil mapu průměrné roční teploty vzduchu za období 1961-1990 v České republice zpracovanou Květoněm, Rettem a Rybákem (1999), viz obrázek 4.



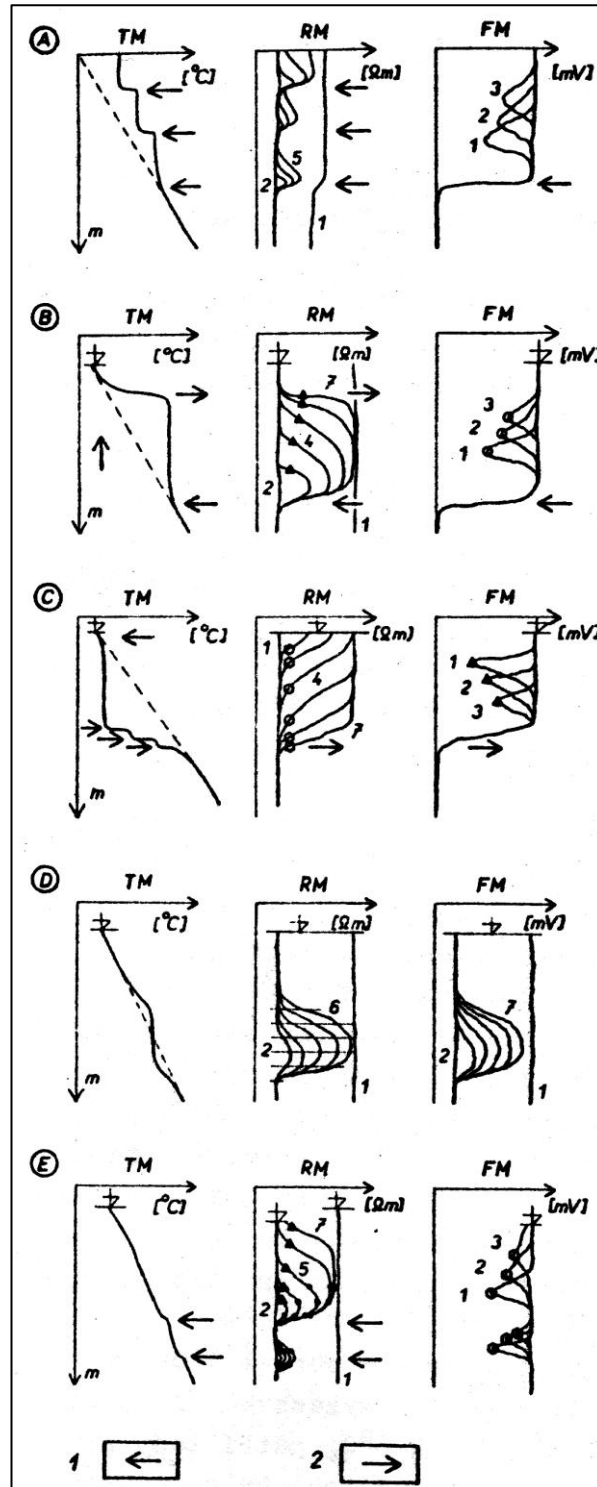
Obr. 4. Mapa průměrné roční teploty vzduchu za období 1961-1990 použitá pro stanovování teploty povrchu v oblasti Ohářeckého lineamentu.

Do mé práce jsem zařadil osm vrtů, na kterých byl zjištěn přetok a dva vrty, kde proudění natolik ovlivňovalo vývoj termometrické křivky, že se průběh gradientu prakticky nedal zjistit (v těchto dvou případech jsem při výpočtu gradientu postupoval stejně jako u artéských vrtů). Pět z těchto deseti vrtů jsem do své práce přidal z důvodu jejich strategické pozice na místě, kde v širším okolí nejsou jiné použitelné vrty a tedy tam, kde informace o geotermickém gradientu byly jen matematickou extrapolací nebo interpolací hodnot zjištěných na relativně vzdálených vrtech. Dalších pět vrtů leží naopak v oblastech s relativním dostatkem dat, a to pro ověření přesnosti výše popsané metody výpočtu gradientů na těchto speciálních vrtech. I přesto, že teploty vzduchu na povrchu, odečtené z mapy Květoně, Retta a Rybáka (1999), mají přesnost jen 1 °C, vypočtené výsledky jsou uspokojivé a gradienty zjištěné touto metodou jsou svojí hodnotou reprezentativní pro dané území. Vrty s přetokem jsou v příloze P 1 - Seznam vrtů použitých pro konstrukci map v oblasti Oháreckého lineamentu vyznačené modrou barvou.

B), C) vrty se zakleslou hladinou - vertikální pohyb kapaliny ve vrtu

Při opravách teplotních křivek na poruchy způsobené vertikálním prouděním lze postupovat v obou případech (B i C) prakticky totožně. Nejprve určíme hloubky kolektorů, kterými proudí voda do respektive z vrtu. Ty na teplotním záznamu rozpoznáme deviací termometrické křivky od očekávaného průběhu teplotního gradientu, a to právě v místech mezi kolektory přítoku a odtoku. V místě přítoku vody do vrtu, která má teplotu prostředí v dané hloubce, se křivka vychýlí ze svého původního směru a to tak, že při dostatečně silném proudění kapaliny (tj. takovém, že kapalina výrazně nemění svou teplotu vlivem okolí) má křivka konstantní nebo téměř konstantní hodnotu v celém intervalu, v němž k proudění dochází. Správnou identifikaci míst přítoků respektive odtoků vody lze dobře ověřit pomocí záznamu rezistivimetrie a nebo fotometrie při aplikaci metody ředění označené kapaliny. Teplotu horninového prostředí v takto porušených

místech záznamu zjistíme proložení přímkou (na obrázku 5 vyznačené čárkovaně), jež svým sklonem reprezentuje gradient v neporušených částech vrtu.



Obr. 5. Schematické znázornění karotážních záznamů z vrtů různé kategorie.

A – vrty s přirozeným přetokem; B až E - vrty se zakleslou hladinou; B – ve vrtu existuje přirozený pohyb kapaliny směrem k ústí vrtu a to znamená, že nižší zvodněný obzor má vyšší výtlačnou úroveň; C - ve vrtu převládá přirozený pohyb kapaliny směrem k čelbě vrtu, tj. zvodnělé obzory hlouběji uložené mají nižší výtlačnou úroveň; D - ve vrtu se projevuje převážně pohyb kapaliny napříč vrtem (projev filtrace), E – ve vrtu neexistuje přirozený pohyb kapaliny, pro stanovení míst přítoků je nutno porušit dynamickou rovnováhu ve vrtu čerpáním od hladiny nebo konstantním nálevem; TM – termometrie; RM – série rezistivimetrických záznamů po úpravě kapaliny kuchyňskou solí (časový sled záznamů je vyjádřen pořadovým číslem, záznam 1 znázorňuje stav za přirozených podmínek); FM – série fotometrických záznamů po vytvoření barevné značky; 1 – místa přítoků; 2 – místa ztrát. Upraveno podle Mareše (1976 b).

D) vrty se zakleslou hladinou - pohyb kapaliny kolmo k ose vrtu

Při opravách na horizontální proudění ve vrtu lze postupovat podobně, jako tomu bylo v případě B a C, jen s tím rozdílem, že záznam není porušen mezi dvěma (či více) kolektory s různou výtlačnou úrovní, ale jen v hloubkovém rozsahu odpovídajícím jedinému kolektoru, kterým voda protéká. Tento případ je méně častý a na záznamu méně výrazný, než tomu bylo u efektů způsobených vertikálním prouděním.

E) vrty se zakleslou hladinou - ve vrtu neexistuje žádný přirozený pohyb kapaliny

Neprobíhá-li ve vrtu žádný pohyb kapaliny (ani vertikální ani horizontální), získá voda po určitém čase od ukončení vrtných prací teplotu okolí a termometrická křivka pak reprezentuje teplotní poměry v horninách podél celé osy vrtu. V tomto ideálním případě lze většinou teploty odečítat přímo z křivky bez nutnosti oprav.

Proudění ve vrtu kromě termometrie dokládá především rezistivimetrie a fotometrie. Rezistivimetrie se využívá ke stanovení měrného elektrického odporu kapaliny ve vrtu, k tomu slouží jednoduchá sonda s malým dosahem zamezujícím ovlivnění výsledků vodivostí okolních hornin. Sonda může měřit kontinuálně a výsledkem je tak záznam ve formě spojité křivky. Jde o základní

metodu ke stanovení hydrodynamických poměrů ve vrtech. Nejčastější postup při měření rezistivimetrie za účelem osvětlení režimu proudění kapaliny ve vrtu je následující:

- 1) Sondu spustíme do vrtu a určíme měrný tepelný odpor kapaliny před aplikací kontrastní látky.
- 2) Odpor snížíme úpravou kapaliny, tj. přidáním chloridu sodného do vody rovnoměrně podél celého vrtu.
- 3) Sondu opakovaně spouštíme a vytahujeme z vrtu a získáváme tak záznam měrného elektrického odporu v čase, tedy záznam o průběhu ředění.

Podzemní voda přitékající do vrtu má vyšší odpor nežli voda upravená, a tak v místech přítoku dochází ke zvyšování měrného odporu, což je jasně patrné na křivce záznamu. Interpretací tohoto záznamu lze většinou na první pohled jednoduše stanovit místa přítoků vody do, resp. z vrtu, určit směr proudění kapaliny a odhadnout poměrnou vydatnost jednotlivých přítoků. Při znalosti celkové vydatnosti vrtu nebo vydatnosti některého z přítoků lze spočítat přesné hodnoty rychlosti proudění a vydatnosti jednotlivých přítoků.

Fotometrie pracuje na velmi podobných principech, jen se místo měrné elektrické vodivosti určuje průzračnost vody a místo úpravy kuchyňskou solí se do vody přimíchává potravinářské barvivo. Na rozdíl od úpravy solí má obarvená voda tu výhodu, že nedochází k ovlivnění pohybu označkové vody působením gravitace. Nevýhodou je naopak rychlá difuze obarvené vody.

V případě, že přírodní proudění je příliš slabé, nebo vůbec žádné, se pro stanovení polohy kolektorů používají metody konstantního čerpání, nebo konstantního nálevu. Jsou to metody, kterými se ve vrtu umělým poklesem nebo naopak zvýšením piezometrické hladiny vybudí proudění, pomocí něhož lze na základě měření rezistivimetrie, resp. fotometrie, identifikovat kolektory a propustné zóny, které by se jinak na záznamu vůbec neprojevíly.

5.3.2. Další příčiny deviací termometrické křivky

Litologie v okolí vrtu

U vybraných dokumentací jsem dále hodnotil ostatní faktory ovlivňující průběh termometrické křivky. Jedním z kritérií, které může znatelně ovlivňovat teplotu naměřenou ve vrtu, je litologie. Horninové prostředí, kterým se teplo šíří směrem k povrchu, má zásadní vliv na tepelný tok a tedy i na teploty naměřené ve vrtu. To je způsobeno rozdílnými hodnotami konduktivity v různých horninových typech. Z hlediska termometrie není rozhodující jen petrografický typ hornin, ale i míra alterace a porušení. Vlivem tektoniky může například docházet ke zvýšení jílovitosti na vzniklých zlomech, což výrazně snižuje hodnotu konduktivity prostředí nebo naopak ke vzniku zón predominantních pro šíření tepla (Martin Procházka - osobní sdělení). Rozdílné vlastnosti hornin tak mohou ovlivnit průběh termometrické křivky. V případě, že dokumentace k vrtu obsahuje spojitý záznam o litologii, lze často vychýlení křivky od předpokládaného průběhu snadno vysvětlit na základě fyzikálních vlastností jednotlivých horninových typů. Součástí mé práce je tedy i stručný záznam o převládajících horninových typech, případně o míře jejich porušení, která byla zjištěna z dokumentace k vrtu. Tam, kde záznam o litologii chyběl (především u digitálních dokumentací k vrtům), se dalo často mnohé vyvodit interpretací ostatních karotážních křivek, které byly součástí měření na dané lokalitě. Z nich se na základě korelace křivek dalo usuzovat o typu horniny, nebo alespoň o některých fyzikálních vlastnostech, které mohou souviset s teplotní vodivostí. Na některých litologických rozhraních se termometrická křivka láme, tj. dochází ke změně hodnoty gradientu, a to v závislosti na velikosti rozdílu konduktivit jednotlivých horninových typů, které spolu hraničí. Při přechodu z prostředí s vyšší konduktivitou (relativní vodič) do prostředí s nižší konduktivitou (relativní izolant) se teplotní křivka láme od vertikály, teplota v prostředí s nižší konduktivitou tedy stoupá rychleji. Naopak je tomu v případě přechodu z nevodivého do teplotně vodivějšího prostředí. V těchto případech je pro správné určení teplotního režimu ve vrtu nutné znát

teplotu okolí každého takového rozhraní. Na základě těchto hodnot je možné stanovit geotermický gradient pro každou litofacii zvlášť, což je důležitý předpoklad k získání správných hodnot pro konstrukci teplotních řezů.

Opravy na náklon vrtu

Dalšími uvažovanými opravami, které by zamezily vnášení nežádoucích chyb v této fázi práce, byly opravy na náklon osy vrtu. Některé vrty nebyly hloubeny přesně kolmo k zemskému povrchu a vzdálenost od ústí vrtu, ve které byla zjištěna teplota, tak přesně neodpovídá hloubce. Odchytky vrtů od kolmice se však vždy pohybovaly maximálně v prvních úhlových stupních, a tak byla chyba v určení hloubky pro naše účely zanedbatelná. Prostým goniometrickým výpočtem lze zjistit, že jedná-li se například o vychýlení vrtu od svislice o 3° , dojde v hloubce 1 km k dilataci přibližně 1 m. To odpovídá nepřesnosti 0,1 %, která v tomto případě nehraje žádnou roli.

Kal u dna vrtu

Křivka se někdy odklání od přirozeného průběhu teplotního gradientu u samého dna vrtu směrem k vyšším teplotám, což je pravděpodobně způsobeno přítomností kalu. Přesná příčina zahřívání však není zcela známa. Může jít o exotermický proces tlení organických nečistot ve vodě, o radiogenní teplo vyzařované jílovitými částicemi, nebo o příčiny spojené s výrazně odlišnou konduktivitou zmiňovaného prostředí. Při vyhodnocování termometrické křivky je třeba počítat s hodnotami až těsně nad čelbou, kde se již tyto efekty neprojeví (Martin Procházka, ústní sdělení).

5.3.3. Selekce dat v jednotlivých oblastech vytyčeného území

Po opravách termometrických křivek a výpočtu teplotních gradientů všech vrtů byla data rozmístěna do mapy podle své polohy v souřadném systému Křovák. Dalším krokem bylo zhodnocení získaných dat na základě jejich polohy vůči okolním hodnotám - gradienty byly posuzovány v kontextu ostatních výsledků v dané oblasti. Zvolený postup této selekce byl následující:

- 1) Celé území Oháreckého lineamentu bylo rozděleno na 10 menších oblastí, výjimečných vysokou koncentrací bodů měření, na nichž probíhala tato druhotná selekce. Výčet těchto podoblastí s příslušnými počty vrtů je uveden v tabulce 1. V každé oblasti byly vybrány vrty, které svým gradientem neodpovídají charakteru okolí.
- 2) U těchto vrtů se znovu přehodnocovala věrohodnost získaných dat a za předpokladu pochybností o správnosti měření nebo zásadní neshodě s větším množstvím okolních hodnot, byl vrt ze zpracování vyloučen.

Tab. 1. Seznam podoblastí

Oblast kumulace vrtů	Počet vrtů
Cheb - Jesnice	17
Mariánské Lázně	8
Louka - Mnichov u M.L.	19
Prameny u M.L.	9
Kyselka	45
Velichov - Petrovský potok	13
Cínovec	10
Teplice	5
Jehličná - Lomnice	11
Horní Slavkov - Krásno	13

V tabulce je v levém sloupci seznam podoblastí vybraných pro reselekci vrtů na základě jejich společného teplotního charakteru, v pravém sloupci je pak počet vrtů spadajících územně do každé takové oblasti.

Konečný počet vrtů, použitých pro zpracování map po posledním přehodnocení na základě hodnot gradientů a jejich pozice, byl 281. Seznam těchto vrtů s jejich souřadnicemi x, y (systém Křovák) a z [m n. m.], dosaženými teplotami T_{max} [°C], hloubkami H_{max} [m] a průměrným geotermickým gradientem G [°C.km⁻¹], je v tabulkách 1.1 až 1.6 v příloze P 1.

6. Zpracování teplotních dat a vynesení do map

6.1. Mapy celé oblasti

Soubor, se souřadnicemi x, y a průměrnou hodnotou teplotního gradientu pro každý z 281 vrtů, byl dále zpracováván v programu Surfer 8, vyvinutém společností Golden Software. Pro vizualizaci dat v mapách se v našem případě, kde jsou data velmi nerovnoměrně rozmístěna, nakonec ukázala jako nejlepší metoda výpočtu, metoda kriging. Ten je také pro účely geologických oborů společností Golden Software doporučován. Z dat v tabulkovém procesoru byl pro výpočet hodnot gradientu a teplot v bodech mřížky mimo místa měření vytvořen grid o velikosti 38 řádků a 60 sloupců, tj. 2280 uzlů. Na jeho základě pak byly konstruovány systémy map, které jsou použity v této práci.

6.1.1. Mapa teplotního gradientu oblasti Oháreckého lineamentu

Pro mapu teplotních gradientů byl použit soubor celkem 281 vrtů, spadajících svou polohou do stanovené oblasti a splňujících všechny výše uvedené požadavky pro zpracování. Bylo použito také 5 dalších vrtů, u kterých byly stanoveny teplotní gradienty, ale které nespádají do zájmového území. Tyto vrty byly do seznamu začleněny z důvodu přesnějšího výpočtu teplotních poměrů

v některých okrajových částech mapy s malým množstvím dat. Každý z těchto bodů byl definován svou pozicí x , y v souřadném systému Křovák a jednou hodnotou geotermického gradientu, která byla v případě více hodnot (pro různé hloubky jednoho vrtu) spočtena matematicky jako vážený průměr jednotlivých gradientů.

V mapě jsou gradienty barevně odlišeny a příslušné hodnoty uvádí přiložená škála s rozsahem od 10 °C/km (světle modrá) do $>80\text{ °C/km}$ (červená), střední hodnoty gradientů jsou v mapě znázorněny žlutě. Pro lepší vizualizaci jsou v mapě také gradientové izolinie s vyznačenými hodnotami.

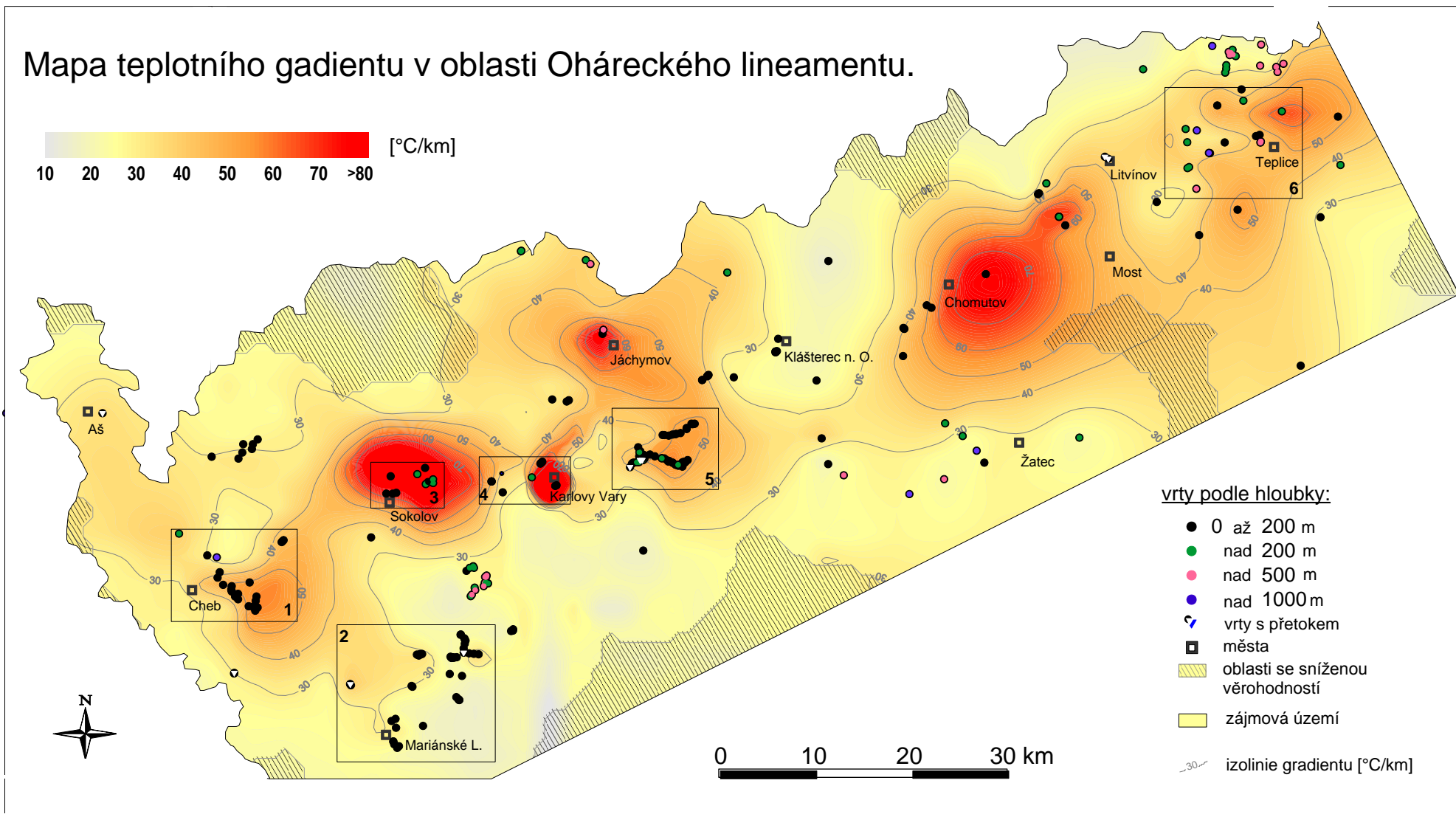
Další symboly v mapě jsou body představující jednotlivé vrty, ty jsou barevně odlišené v závislosti na maximální dosažené hloubce měření (do 200, 500, 1000 a více než 1000 m) a hydraulickém režimu (vrty s přetokem jsou označeny trojúhelníkem). Pro lepší orientaci jsou v mapě zakreslena některá města symbolem čtverce.

Plochy označené šedým šrafováním, v legendě popsané jako oblasti se sníženou věrohodností, představují území, na kterých nebyly zjištěny žádné hodnoty geotermického gradientu a jejichž rozloha dosahuje až prvních stovek km^2 . V těchto oblastech nejsou žádné vrty, na kterých by bylo možné pomocí termometrické karotáže a následných výpočtů nebo oprav zjistit hodnotu geotermického gradientu. Patří sem také vrty, u kterých termometrická křivka chybí, nebo je natolik nečitelná, že nelze zjistit její gradient. Nebo vrty s nedostatečnou hloubkou pro zjištění teplot horninového prostředí bez vlivu povrchových meziročních teplotních vlivů. Oblasti se sníženou věrohodností jsou tedy území, kde byl teplotní gradient odvozen jen numericky interpolací nebo extrapolací z ostatních geograficky relativně vzdálených dat vnesených v mapě. Vzdálenost, ve které jsou hodnoty teplotního gradientu ještě považovány pro použití v této mapě za věrohodné, je vždy maximálně 10 km od nejbližšího vrtu, na kterém byla zjištěna hodnota gradientu. Většina oblastí se sníženou věrohodností dat leží v okrajových částech mapy, gradient zde byl dopočítán

extrapolací údajů z míst spadajících do mapového území a nedá se vyloučit, že reálný průběh gradientu je zde značně odlišný od údajů znázorněných v mapě.

Kromě některých okrajových částí zkoumaného území, je jednou z poměrně rozsáhlých oblastí bez vlastních termometrických dat zóna jižně od Mostu. Na rozdíl od ostatních oblastí se sníženou věrohodností dat je však téměř ze všech stran (kromě kratšího úseku přibližně kolem Loun) obklopena vrty s vypočtenou hodnotou gradientu. Přestože se dá předpokládat, že interpolace gradientu mezi okolními vrty přináší o něco přesnější pohled na distribuci teplot, patří toto území také mezi oblasti se sníženou věrohodností. Mapa geotermického gradientu Oháreckého lineamentu je znázorněna na obrázku 6.

Mapa teplotního gradientu v oblasti Oháreckého lineamentu.



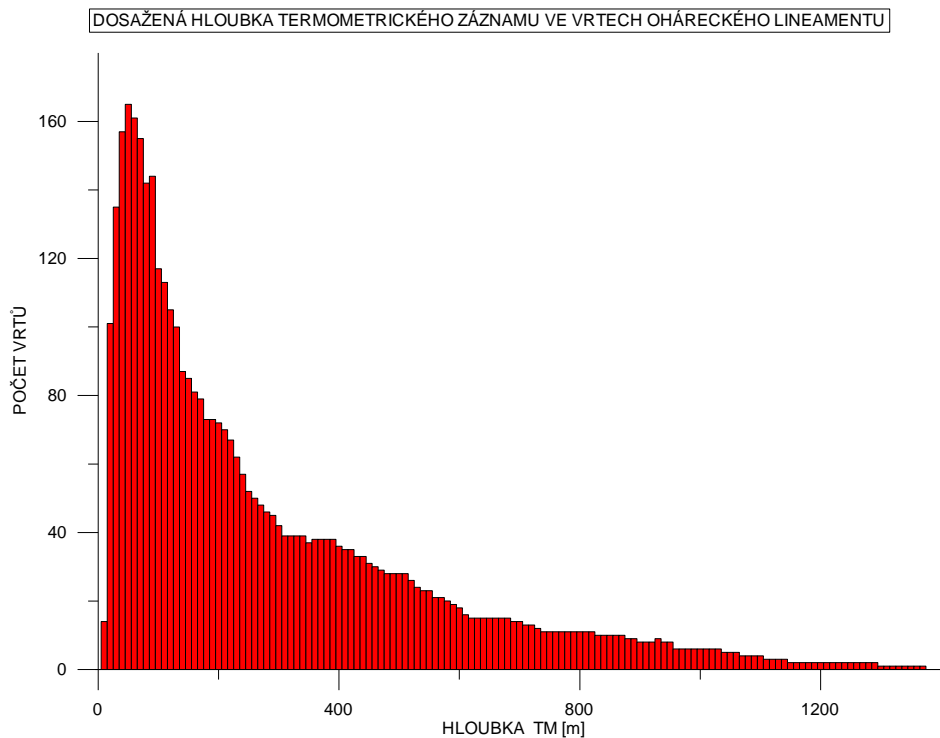
Obr. 6. Mapa geotermického gradientu v oblasti Oháreckého lineamentu.

6.1.2. Mapa teplotních řezů - skutečné teploty

Na mapě je vyobrazeno šest teplotních řezů zvolených ekvidistantně, vždy po šedesáti metrech hloubky, první se nachází v hloubce 30 m, ostatní pak v 90, 150, 210, 270 a 330 metrech pod povrchem. Tyto vzdálenosti od povrchu jsem zvolil na základě počtu dat, která byla v dané hloubce zjištěna. Snažil jsem se najít takové hloubky, kterými prochází co největší počet vrtů, ale zároveň (z důvodu přehlednější vizualizace) mezi nimi zachovat stejné vzdálenosti. Třetím parametrem pro umístění řezů bylo dosažení co největší hloubky, ve které je množství údajů dostačující pro vynesení do mapy. Hloubky teplotních měření s příslušnými počty těchto vrtů jsou znázorněny v grafu na obrázku 7. Nad teplotními řezy je pro ilustraci mapa reliéfu území (převzata ze serveru Free Top Links, 2010). Ta je umístěna do úrovně 0 metrů, tj. úroveň povrchu. Povrch Země je zde uvažován jako část roviny a topografické odchylky byly zanedbány. Stejně je tomu i u všech šesti řezů, jejichž hloubky nebyly přepočítány na absolutní hloubky, ale jedná se o hloubky pod povrchem. V každém řezu jsou vyznačeny černými body průniky vrtů s rovinou řezu. Jedná se však vždy jen o ty vrty, které nejenže danou hloubkou skutečně procházejí, ale u kterých byla též v hloubce řezu zjištěna teplota okolních hornin. A to tak že:

a) Ve vrtu nedocházelo v hloubce řezu k proudění, které by mohlo ovlivnit průběh termometrické křivky a bylo tedy možno z měření určit přímo teplotu odpovídající teplotě okolních hornin.

b) Termometrická křivka byla sice ovlivněna prouděním, ale v daném místě umožňovaly postupy, uvedené v kapitole 5.3 Opravy naměřených hodnot, křivku opravit a zjistit tak téměř stejně spolehlivě teplotu prostředí v hloubce řezu. V žádném řezu tedy nejsou vyznačeny vrty, kde nebylo možné provést opravy na proudění.



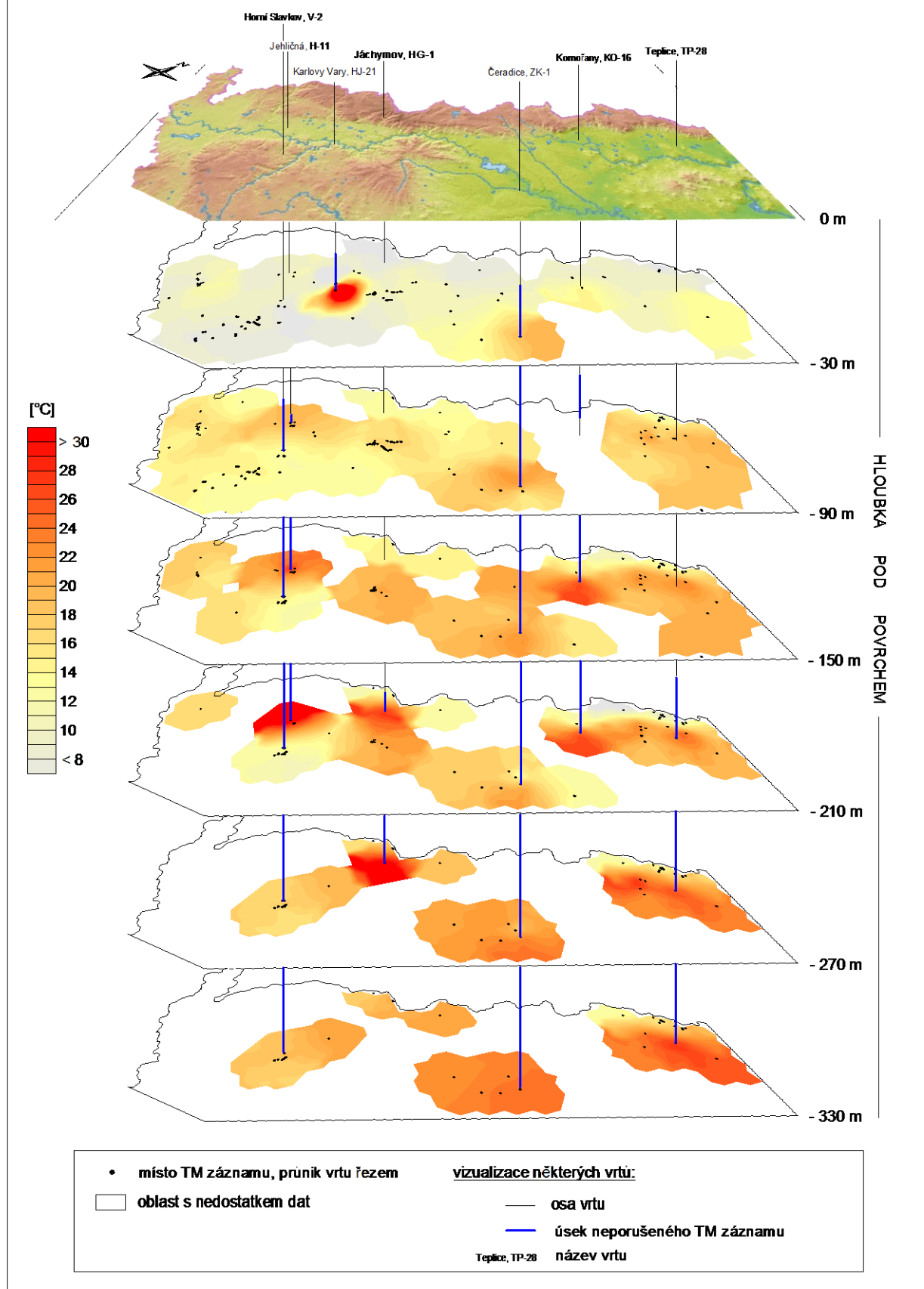
Obr. 7. Dosažená hloubka termometrického záznamu ve vrtech Oháreckého lineamentu. Graf znázorňuje vztah mezi počtem vrtů (svislá osa) a hloubkou (vodorovná osa), ve které byl u těchto vrtů získán termometrický záznam.

Pomocí barevné škály jsou v mapě znázorněny teploty okolí těchto vrtů a to jen ty, které skutečně odpovídají teplotám horninového prostředí (na obrázku 9 je graficky znázorněno, jakých teplot vrty ve zkoumané oblasti dosahují). Nejsou zde tedy použity žádné hodnoty vypočítané extrapolací teplot (za využitím známého geotermického gradientu) ať už směrem k povrchu, nebo do větších hloubek. Pro výpočet teplot na hloubkových řezech jsem tedy použil jen hodnoty skutečně naměřené v dané hloubce. Výhodou tohoto postupu je zvýšení věrohodnosti údajů vynesných v mapě, která dokládá průběh teploty s hloubkou a která se tak nestává jen odhadem z příliš odlehlých hodnot. Zde však opět narážíme na problematiku nerovnoměrného pokrytí dostatečně hlubokými vrty, což způsobuje, že s hloubkou přibývá míst velmi řídké (nebo vůbec) pokrytých daty. Úbytek použitelných dat s hloubkou je patrný z obrázku 7. Problém nedostatku dat lze řešit interpolací mezi údaji z odlehlějších vrtů, avšak tím se dostáváme jen k hrubé matematické charakteristice rozložení teplot. Navíc se

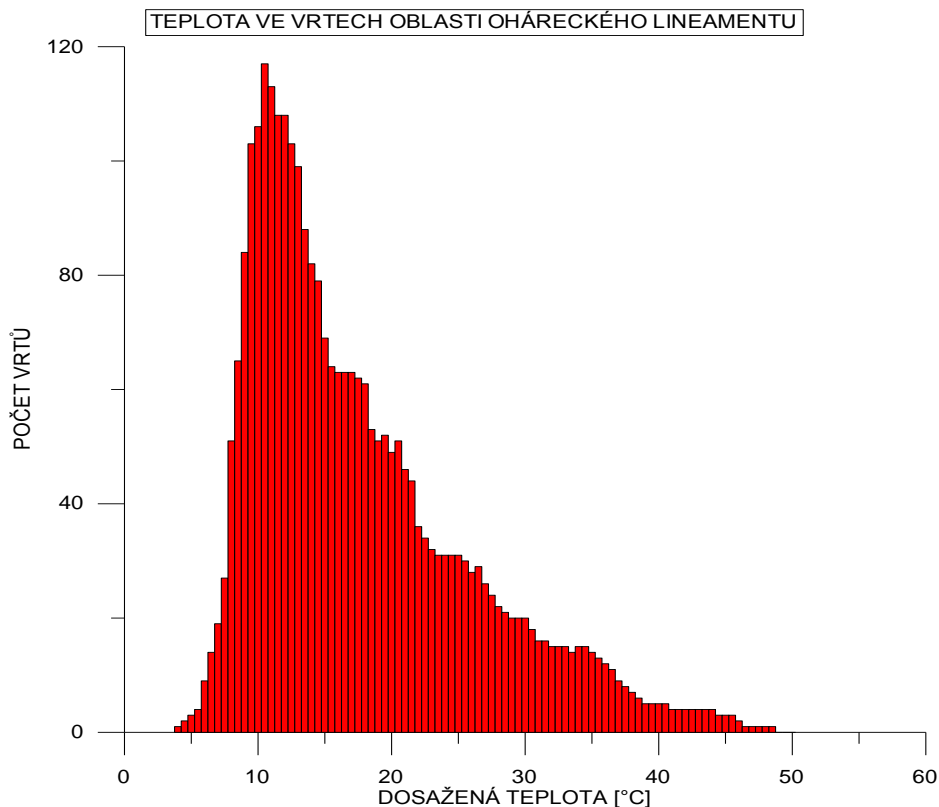
v některých případech může stát, že díky interpolaci mezi vzdálenějšími vrty dojde ve vizualizaci ke zdánlivému poklesu teploty s hloubkou. Tyto jevy jsem se pokusil eliminovat zavedením maximální zobrazovací vzdálenosti, ve které byly v okolí každého vrtu teploty do řezů vyneseny. Za touto maximální vzdáleností od každého vrtu nebyly již teploty počítány a místa v mapě jsou vyplněna bílou barvou. Tento rádius, tedy vzdálenost od vrtu pro vynesení teploty, jsem stanovil u všech řezů stejně, a to 10 km. Tím se mi podařilo eliminovat naprostou většinu zdánlivých poklesů teploty s hloubkou. Jistou nevýhodou se při tomto postupu (při výpočtu teplot bez použití dat získaných hloubkovou extrapolací) stává snížení plošného pokrytí teplotními údaji a tím i zhoršení přehlednosti mapy. To nastává hlavně ve větších hloubkách, což je patrné i z Mapy teplotních řezů - skutečné teploty na obrázku 8. Jedinou výraznější výjimkou je oblast pod Karlovými Vary v okolí vrtů HJ-21 a BJ-70, ve kterých byla stanovena teplota v maximálních hloubkách 35 a 70 m. Ta v obou případech přesahuje hodnotu 30 °C již v hloubce 30m, tj. v hloubce prvního řezu. Druhým řezem v hloubce 90 m však již tyto vrty neprocházejí a teplota v tomto místě, odvozená z měření na okolních vrtech, se pohybuje jen mezi 15 a 20 °C. Z toho lze zřejmě usuzovat, že se nejedná o teploty způsobené přirozeným geotermickým gradientem v horninách, ale že jde nejspíš o přínos tepla podél nějaké nepříliš plošně rozsáhlé zóny.

Vrty HJ-21 (Karlovy Vary), V-2 (Horní Slavkov), H-11 (Jehličná), HG-1 (Jáchymov), ZK-1 (Čeradice), KO-16 (Komořany) a TP-28 (Teplice), které jsou významné svou hloubkou nebo dosaženou teplotou, znázorňuje v mapě tenká černá čára. Tlustší modrou jsou pak zvýrazněny úseky, na kterých bylo možné z karotáže zjistit teplotu horninového prostředí. Mapa povrchu a stejně tak i všechny řezy jsou sklopeny pod úhlem 40° a vyobrazeny perspektivně namísto ortogonální vizualizace. To zlepšuje prostorovou představu, ale mění poměry vzdáleností. Proto také v mapě chybí měřítko a mapa jako taková dává spíše jen přibližný náhled na rozložení teplot a rozmístění vrtů v jednotlivých horizontálních rovinách, nežli jejich přesnou polohu.

Mapa teplotních řezů, skutečná teplota hornin



Obr. 8. Mapa teplotních řezů celé oblasti v relativních hloubkách a bez extrapolace teplot.



Obr. 9. Teplota ve vrtech oblasti Oháreckého lineamentu. Graf dokládá, jakých teplot dosahují vrty této oblasti. Na vodorovné ose je počet vrtů, na svislé ose jsou teploty ve °C, kterých tyto vrty dosahují.

6.1.3. Mapa teplotních řezů – hloubková extrapolace teplot

Pro mapu na obrázku 10 byla naměřená data upravena a extrapolována na základě znalosti teplotního gradientu v daném místě i do hloubek, ve kterých termometrické měření vůbec neproběhlo, nebo kde byla část záznamu nečitelná. Při výpočtu jsem postupoval následujícím způsobem: jestliže horninové prostředí podél vrtu jevílo výraznější zonalitu (průběh teploty byl ovlivněn díky odlišným fyzikálním vlastnostem jednotlivých vrstev horninového sledu). Lomenou křivku jsem nahradil jedinou úsečkou, která spojuje nejmělkčí a nejhlubší bod měření a jejíž úhel, který svírá s vertikálou, udává jedinou hodnotu gradientu charakteristickou pro daný vrt. Tento výsledek reprezentuje vážený průměr geotermického gradientu. Pomocí této hodnoty váženého průměru jsem

pak mohl extrapolovat teplotní křivku i do hloubek, kterými vrt neprochází. Pro výpočet teplot tak mohlo být použito v každém hloubkovém řezu všech 281 vrtů a plošné pokrytí daty je tak dostatečné i ve větších hloubkách.

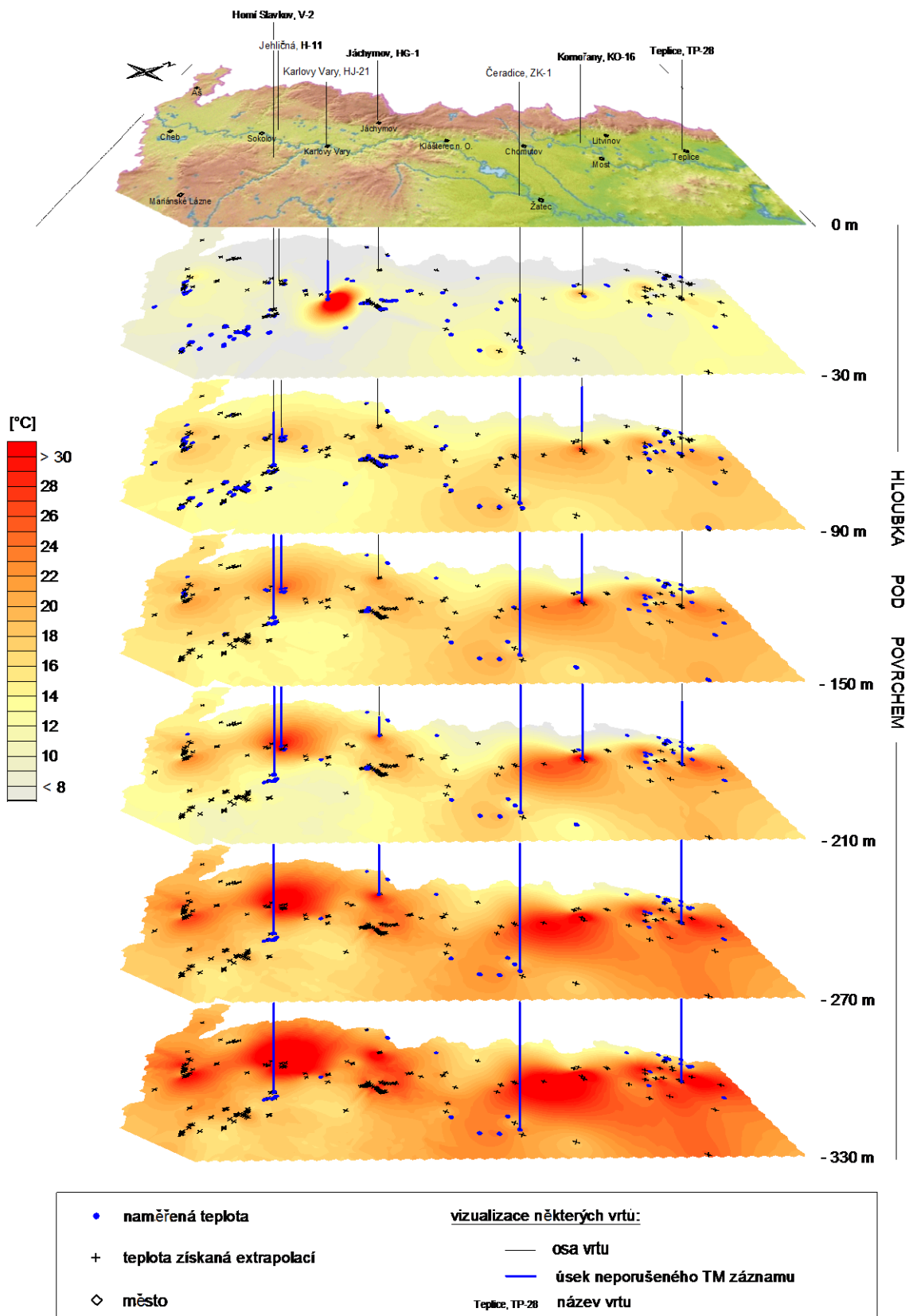
Hloubky řezů pod povrchem i barevná škála byly zvoleny shodně s předchozí mapou na obrázku 8 (Mapa teplotních řezů – skutečné teploty). Modré body vynesené v řezech znázorňují místa, kudy skutečně vrt prochází a kde teplota horninového prostředí byla zjištěna. Křížky pak symbolizují hodnoty získané matematickou extrapolací. Jde o místa na prodloužených osách vrtů, většinou hlubší než je dosah vrtu nebo karotážního měření, kde byla teplota dopočítána. Tabulka 2 uvádí hloubky řezů a k nim příslušné počty vrtů, na kterých byla v dané hloubce z termometrické karotáže zjištěna skutečná teplota horninového prostředí. V každém řezu je však rozložení teplot počítáno ze všech 281 hodnot.

Tab. 2. Počet vrtů

Hloubka [m]	Počet vrtů
30	135
90	144
150	85
210	69
270	47
330	38

Stejně jako v mapě na obrázku 8. (Mapa teplotních řezů – skutečné teploty) je sedm vybraných vrtů znázorněno tenkou černou čarou. Tlustší modrou jsou na nich pak zvýrazněny úseky, na kterých bylo možné z karotáže zjistit teplotu horninového prostředí. Pro vrty HJ-21 a sousední BJ-70 v Karlových Varech nebyla provedena extrapolace teplot do hloubky z důvodu jejich anomálních teplotních projevů, které se výrazně liší od charakteru okolního prostředí. Díky svým maximálním hloubkám 35 a 70 m oba vrty protínají pouze první řez 30 m pod povrchem, a to je také jediný řez, ve kterém byly jejich teploty pro vizualizaci použity.

Mapa teplotních řezů - extrapolace teplot



Obr. 10. Mapa teplotních řezů s využitím hloubkové extrapolace teplot.

6.1.4. Mapa teplotních řezů - hloubková extrapolace teplot - absolutní hloubky

Na této mapě je, stejně jako v předchozím případě, vyobrazeno kromě povrchu šest hloubkových řezů zvolených ekvidistantně po šedesáti metrech. Mezi teplotami zobrazenými pomocí barevné škály jsou nejen data získaná přímo měřením, ale i extrapolované hodnoty. Zásadním rozdílem však je přepočítání z relativních hloubek pod povrchem na absolutní hloubky pod nebo nad hladinou oceánu, tedy na nadmořské výšky. Na rozdíl od předchozích map (Obr. 8 a 10), kde hloubkové řezy jsou plochy kopírující topografii daného území, po přepočtu na absolutní hloubky se řezy opravdu stávají přibližně rovinami, jak je zobrazeno v mapě (Obr. 11). Tento přepočítání na nadmořské výšky s sebou však nese výrazné omezení, a to ve snížení počtu teplotních údajů ze stanovených hloubek. Oblast Oháreckého lineamentu a jeho okolí se projevuje značnou topografickou diverzitou. Ústí nejnižše položeného vrtu se nachází přibližně v 180 m n. m., zatímco nejvýše položený vrt dosahuje nadmořské výšky 910 m. Tento výškový rozdíl způsobuje, že mnoho vrtů (jejichž průměrná hloubka je 210 m) nedosáhne ani k nejvýše položenému řezu. Ten jsem umístil do 180 m n. m. což je hodnota těsně pod nejnižším místem území a tedy hloubka, kterou prochází nejvyšší počet vrtů, řez však zároveň nikde nevyčnívá nad úroveň terénu. Počet vrtů, na kterých byla zjištěna skutečná teplota v nadmořských výškách jednotlivých řezů, je zanesen v tabulce 3. Z této tabulky je patrné značné snížení skutečně naměřených dat ve zvolených řezech. Proto bylo také využito extrapolace a v každém řezu je rozložení teplot počítáno ze všech 281 hodnot.

Tab. 3. Hloubky řezů

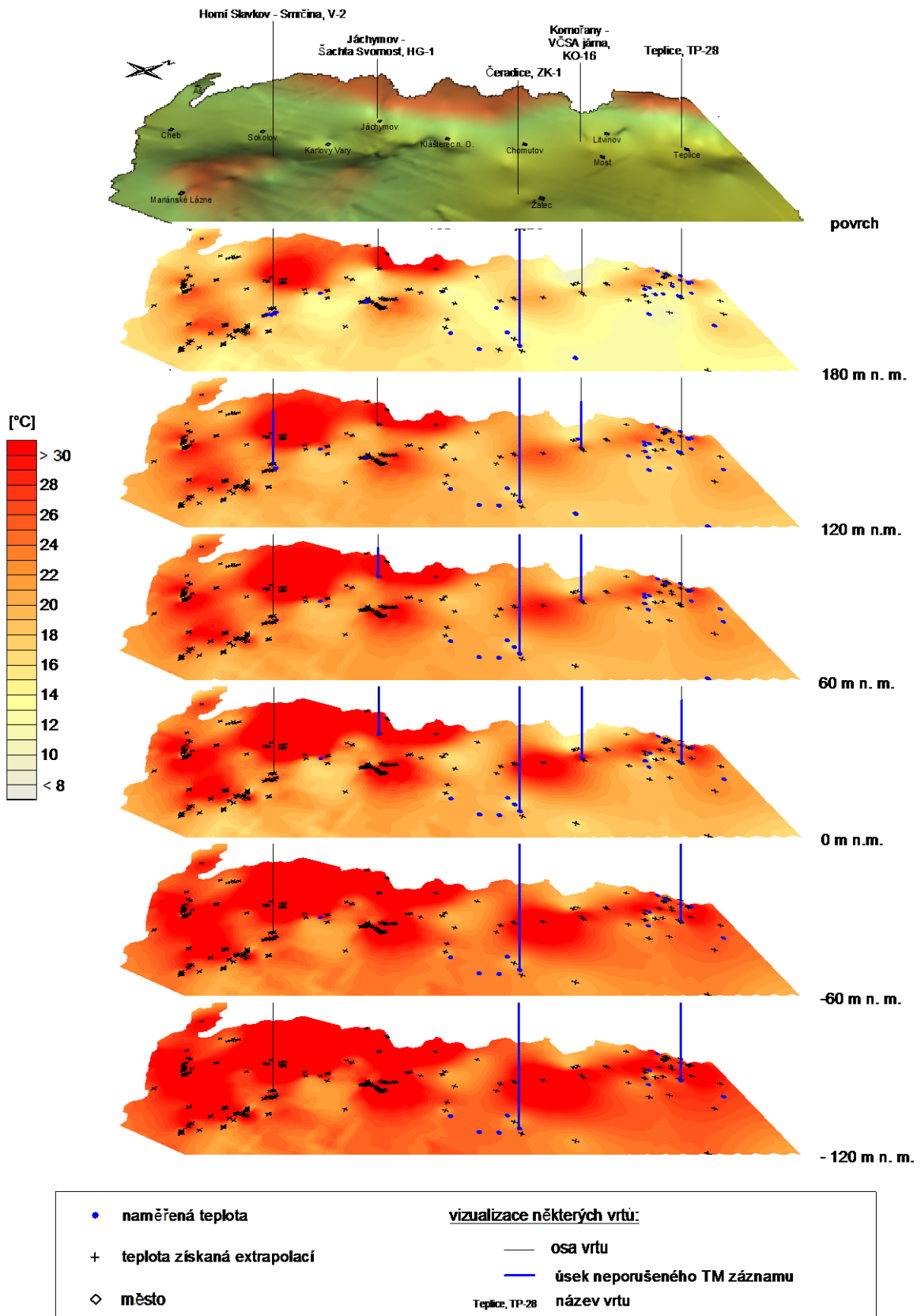
Nadmořská výška [m n. m.]	Počet vrtů
180	40
120	33
60	25
0	18
-60	13
-120	12

Nadmořské výšky jednotlivých řezů a příslušný počet vrtů s naměřenou teplotou.

Rozdílem při zobrazení řezů v absolutních nadmořských výškách je odhalení některých anomálií, které v případě předchozí mapy, kde byly použity relativní hloubky pod povrchem, zůstaly skryty pod tělesy horských masívů. Jedná se hlavně o vyšší teploty severně od Mariánských Lázní a v části Krušných hor přibližně na sever od Jáchymova, kde lze odhalit zvýšené teploty právě až po přepočtu hloubek na nadmořské výšky. Tyto výsledky jsou však diskutabilní právě proto, že teplotní anomálie se nacházejí pod horskými masívy, tedy ve větších hloubkách pod povrchem.

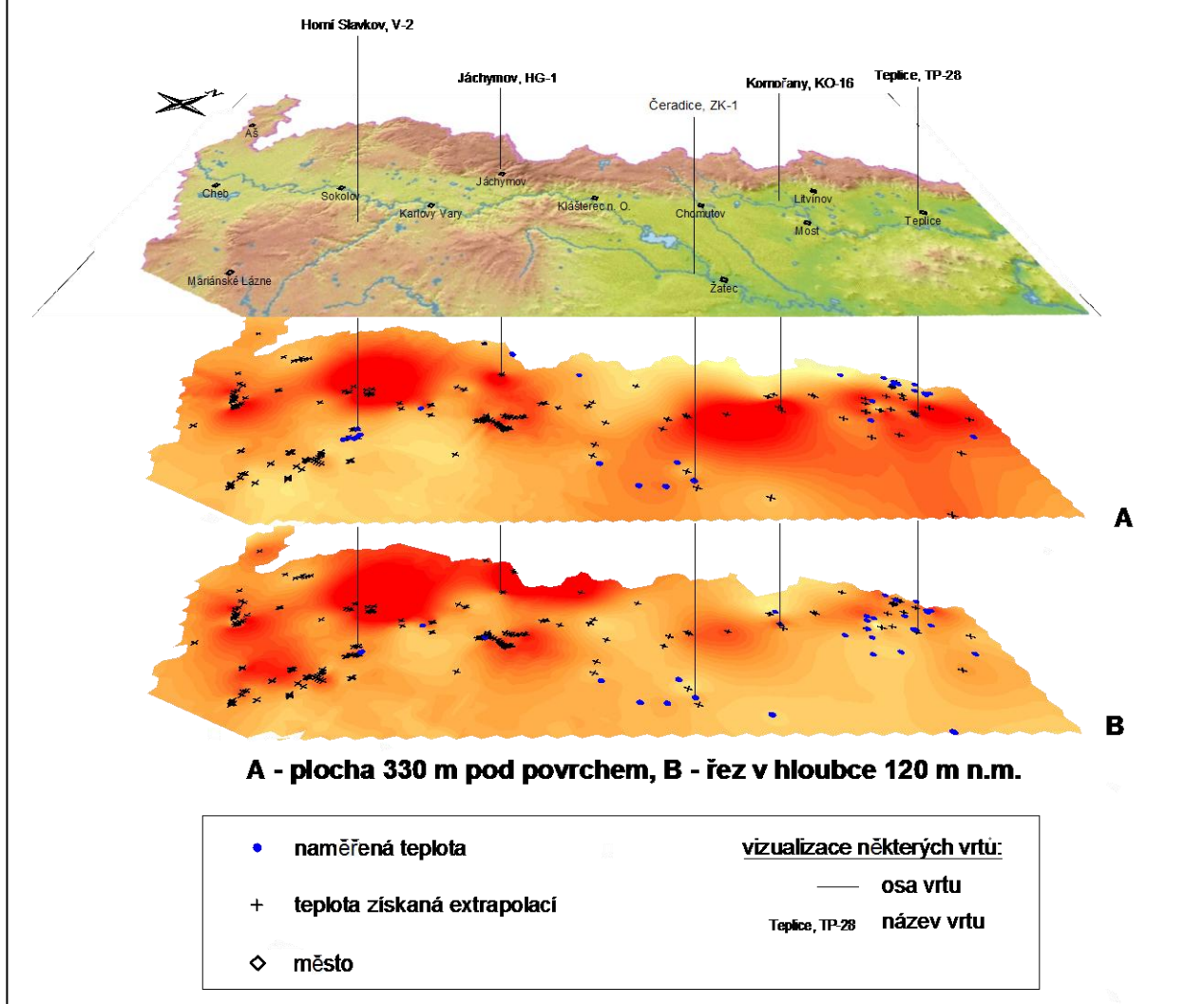
Na obrázku 12 je srovnání distribuce teplot ve dvou zvolených hloubkových teplotních řezech. A je řez v relativních hloubkách 330 m pod povrchem (jde tedy o plochu kopírující terén), B je řez v absolutní hloubce 120 m n. m. (horizontální rovina). Nad oběma řezy je pro představu o topografii vyobrazena mapa s barevně rozlišenou topografií a vodními plochami (převzato ze serveru Free Top Links, 2010). Pro snazší orientaci jsou na mapě vyznačena některá města a důležité vrty naznačené tenkou černou čarou. V řezech jsou vyneseny všechny vrty použité pro zpracování těchto teplotně hloubkových řezů. Pro označení místa termometrického záznamu byl použit symbol modrého bodu, křížky jsou pak vyznačena všechna místa vrtů, u kterých nebyla teplota v dané hloubce řezu zjištěna a byla proto dopočítána hloubkovou extrapolací s využitím hodnoty teplotního gradientu v daném místě.

Mapa teplotních řezů - extrapolace teplot - hloubka absolutně



Obr. 11. Mapa teplotních řezů v absolutních hloubkách s využitím hloubkové extrapolace teplot.

Mapa teplotních řezů - srovnání relativních a absolutních hloubek



Obr. 12. Srovnání distribuce teplot ve dvou zvolených hloubkových teplotních řezech:

A – hloubkový teplotní řez v relativních hloubkách 330 m pod povrchem.

B – hloubkový teplotní řez v absolutní hloubce 120 m n. m.

6.2. Zájmová území a mapy ekvitemplotních plochy

Jak bylo zmíněno výše, oblast Oháreckého lineamentu byla rozdělena do šesti menších zájmových území, charakteristických především zvýšeným teplotním gradientem, geotermální aktivitou a dostatečně reprezentativním počtem vrtů. Jsou to části Chebské a Sokolovské pánve, okolí Mariánských Lázní, Karlových Varů, Teplic a část Doupovských hor. Výsledky teplotní karotáže byly vyhodnoceny pro každé území zvlášť a na jejich základě byly zpracovány detailní geologické mapy (upravené podle Chába, Stráníka a Eliáše 2007), mapy geotermického gradientu a řezy ekvitemplotními plochami. Tyto řezy přinášejí zajímavé zobrazení geotermických poměrů zjištěných z karotáže. Za předpokladu dostatečného množství kvalitních dat a správného zvolení teplotního rozsahu (tedy teplot jednotlivých ploch) lze relativně dobře vizualizovat situaci ve zvolené oblasti. Hodnoty pro jednotlivé plochy jsem volil vždy na základě statistiky dosažených teplot. Vybíral jsem takové teploty, které byly naměřeny v co největším počtu vrtů, aby bylo dosaženo co nejpřesnějšího vykreslení plochy reprezentující danou teplotu. Jednotlivá anomální místa jsou v řezu reprezentována elevacemi, případně depresiemi.

Mapy ekvitemplotních řezů, které jsou součástí této práce, mohou sloužit spíše jen k orientačnímu přehledu o trendech ve vývoji teplot zvolené oblasti, než k přesné lokalizaci anomálních míst. Ačkoliv jsou zachovány výškové poměry mezi topografickými elevacemi a elevacemi ekvitemplotních ploch, dochází při trojrozměrné vizualizaci ke zkreslení. Pro detailnější vyjádření charakteru oblasti touto zobrazovací metodou by bylo vhodné získat více karotážních dat a zároveň zpracovat více výškových hodnot popisujících topografii oblasti. Dále by pro vyšší přehlednost bylo vhodné vyznačit některé orientační body, jako například města, řeky a vodní plochy nebo samotné vrty.

6.2.1. Teplotní charakter oblastí Oháreckého lineamentu

Po vynesení hodnot teplotních gradientů do mapy (Obr. 6.), jsou patrné některé tendence v rozložení anomálií. Regionální průběh mírně zvýšených hodnot geotermických gradientů, tedy gradientů nad $30\text{ }^{\circ}\text{C.km}^{-1}$, je lokalizován přibližně na 10 – 20 km široký pás ve směru VSV – ZJZ mezi Teplicemi a Chebem. Tento trend zvýšených hodnot, který obsahuje další výraznější anomálie, přibližně odpovídá svou polohou a směrem Ohárecké riftové zóně. Na základě výsledků v této mapě lze dále určit místa výraznějších anomálií. Pro tuto práci jsou to oblasti, jejichž teplotní gradient převyšuje hodnotu $50\text{ }^{\circ}\text{C.km}^{-1}$. Příkladem takového anomálního území je oblast Chebské a Sokolovské pánve, kde jsou vysoké hodnoty gradientů dosahující místy až $80\text{ }^{\circ}\text{C.km}^{-1}$ potvrzeny dostatečným množstvím měření. Další oblastí výraznějších anomálií je okolí Karlových Varů, kde byly naměřeny nejvyšší teploty a zároveň nejvyšší gradienty. Výraznější anomálie byly zjištěny u 6 vrtů a extrémní hodnoty (přes $80^{\circ}\text{C.km}^{-1}$) potvrzují čtyři vrty. SZ okraj Doupovských hor svažující se svažuje k údolí řeky Ohře nedaleko obce Korunní je další lokalitou výraznějších anomálií, které potvrzuje řada měření dosahujících hodnot 60 až $70\text{ }^{\circ}\text{C.km}^{-1}$. Podrobněji se těmito lokalitami zabývá kapitola **6.2.2**. Skupinu výrazněji anomálních oblastí tvoří také další tři lokality: okolí Jáchymova, širší okolí Teplic a oblast Mostecké pánve. Zde se výsledky opírají jen o menší množství údajů, a proto nemůžeme tvrzení o teplotní výjimečnosti vyslovit s takovou jistotou. V Jáchymově jsou 2 vrty, oba dosahují hodnot gradientu okolo $70\text{ }^{\circ}\text{C.km}^{-1}$, v okolí Teplic překračují 3 vrty hodnotu $50\text{ }^{\circ}\text{C.km}^{-1}$ a v poslední jmenované oblasti jeví tuto anomalitu 4 vrty ležící v ose Oháreckého lineamentu. V tomto místě zasahuje anomálie dál na J a JV od Chomutova, kde však chybí jakékoliv údaje a zvýšené hodnoty uvedené v mapě, které jsou extrapolované téměř na celou pánevní oblast s převážným zastoupením neogénních limnických sedimentů, jsou spíše spekulativního rázu.

6.2.2. Teplotní charakter zájmových území

Grafické podklady pro bližší studii zájmových území se stručnými vysvětlivkami jsou v příloze označené P 2. Každá ze šesti částí této přílohy (P 2.1 až P 2.6) obsahuje čtyři tematické mapy (topografickou mapu s vyznačením polohy území, ekvitemplotní řez, geologickou mapu a mapu teplotních gradientů).

1 - Chebská pánev:

Zájmové území 1 - Chebská pánev se rozkládá převážně v depresi vyplněné tercierními sedimenty na SV od města Cheb, což dokládá přiložená mapka na obrázku 2.3. Z mapy teplotních gradientů na obrázku 2.4 je patrné, že vrty zastihly 2 blízka centra zvýšených teplotních projevů, které jsou vzájemně odděleny pásem nižších, ale stále ještě nadprůměrných hodnot. Z obrázku 2.2 je patrné, že ekvitemplotní plocha reprezentující teplotu 13 °C přibližně kopíruje terén, stoupá mírně k S a SZ. To zřejmě zcela neplatí v centrální části území, kde jsou kladné i záporné anomálie jdoucí proti topografickému vývoji.

2 - Mariánské Lázně:

Zájmové území 2 - Mariánské Lázně se nachází převážně v oblasti paleozoických vulkanitů a metavulkanitů s variskými intruzivami (Obr. 2.7). Tato relativně rozsáhlá oblast je reprezentována velkým množstvím karotážních záznamů, které dokládají spíše nízké a střední hodnoty gradientu, jak je vidět z mapy na obrázku 2.8. Tomu odpovídají i nízké naměřené teploty. Mapy objasňující polohu, geologické a teplotní poměry v této oblasti jsou součástí přílohy P2.2.

3 - Sokolovská pánev:

Zájmové území 3 - Sokolovská pánev se rozkládá v depresi pánve vyplněné tercierními sedimenty na SV od města Sokolov. Z mapy teplotních gradientů na

obrázku 2.12 jsou patrné anomální hodnoty geotermických gradientů přesahující $80\text{ }^{\circ}\text{C.km}^{-1}$ téměř v celé oblasti.

Obrázek 2.10 dokládá, že ekvitemplotní plocha reprezentující teplotu $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ kopíruje terén hlavně ve V polovině území, zatímco plocha představující teplotu 30°C má v těchto místech protichůdný trend a tyto vysoké teploty se zde nacházejí ve větších hloubkách, nežli je tomu na Z území. Mapy vysvětlující blíže geologické a teplotní poměry včetně polohy této oblasti jsou součástí přílohy P 2.3.

4 - Karlovy Vary:

Zájmové území 4 - Karlovy Vary leží na tělese karlovarského plutonu tvořeného převážně tercierními alkalickými vulkanity. Několik vrtů v okolí Karlových Varů dosahuje velmi vysokých teplot, čemuž odpovídají i geotermické gradienty vyobrazené v mapě na obrázku 2.16. Ekvitemplotní plocha s hodnotou $14\text{ }^{\circ}\text{C}$ (viz Obr. 2.14) svým vývojem přibližně kopíruje topografii oblasti, opírá se však jen o malé množství termometrických dat, protože teplota $14\text{ }^{\circ}\text{C}$ nebyla u některých vrtů vůbec naměřena. Všechny mapy popisující blíže toto území jsou součástí přílohy P 2.4.

5 - Doupovské hory:

Zájmové území 5 - Doupovské hory se leží svou Z částí na elevaci tvořené tercierními, převážně alkalickými intruzivními nebo výlevnými bazalty doupovského masívu, zatímco V část území se rozkládá v oháreckém údolí. Vrty dobře mapují teplotní charakter této oblasti a dokládají zvýšené hodnoty teplotního gradientu ve střední části území, tj. v místech úpatí Doupovských hor, což také potvrzuje některé hypotézy o vlivu cirkulace podzemních vod na teplotní charakter oblasti podrobněji rozebrané v kapitole 7. Diskuze výsledků.

Rozložení teplotního gradientu je patrné z obrázku 2.24. Ekvitemplotní plocha reprezentující teplotu 20 °C se blíží povrchu právě v místech nejvyšších hodnot gradientu (viz Obr. 2.22).

6 – Teplice:

Zájmové území 6 - Teplice a okolí se rozkládá převážně v depresi vyplněné tercierními sedimenty v okolí města Teplice a svou S a SZ částí zasahuje do zdvihajícího se terénu Krušných hor. Nejvyšší hodnoty teplotních gradientů byly zaznamenány na zlomovém pásmu, které je patrné na obrázku 2.23. Trend ekvitemplotních ploch s hodnotami 12 a 16 °C kopíruje až na menší odchylky přibližně terén, což dokládá obrázek 2.22.

7. Diskuze výsledků

Co všechno a do jaké míry ovlivňuje geotermický charakter Ohárecké riftové zóny? Čím jsou způsobené teplotní anomálie, které lze měřit v přípovrchových partiích zemské kůry? S touto otázkou je logicky spojen i problém vzniku tepla v zemském tělese a jeho šíření směrem k povrchu. Vznikem tepelné energie v Zemi a výčtem faktorů působících anomálie teplotního gradientu, což je nezbytné pro správnou interpretaci naměřených dat, se bude zabývat tato kapitola.

7.1. Zdroje zemského tepla

Všude na Zemi pozorujeme tok tepelné energie z hlubin k povrchu, který svědčí o vysokém potenciálu jejího nitra. Hustota tepelného toku byla měřena na mnoha místech, a to jak na dnech oceánů, tak na kontinentech. Výsledky se značně liší v závislosti na strukturně-geologické situaci v místě měření. Průměrná hodnota tepelného toku na pěti kontinentech se pohybuje, jak uvádí Mareš et al. (1979), v rozmezí $q = 54 - 75 \text{ mWm}^{-2}$; pro celý povrch Země pak dostáváme průměrnou hodnotu $q = 60,3 \text{ mWm}^{-2}$. Celková tepelná ztráta Země odpovídající této hustotě tepelného toku je $30,6 \cdot 10^{12} \text{ W}$ (jiní autoři udávají hodnoty až $35 \cdot 10^{12} \text{ W}$), což představuje ročně ohromné množství energie.

Tyto tepelné ztráty Země jsou kompenzovány vnitřními zdroji tepelné energie, mezi něž patří na prvním místě teplo uvolněné samovolným rozpadem radioaktivních prvků (radiogenní teplo), teplo uvolněné při geochemických exotermních reakcích, při stlačení spodních vrstev tíhovou silou nadloží (gravitační teplo) a při gravitační diferenciaci. Při té (podle Smithe 1975) dochází k separaci těžších prvků od lehčích a podílí na tvorbě jádra a ohřevu Země. Dále jsou tyto tepelné ztráty kompenzovány při mechanických a tektonických pohybech nebo při pohlcování energie seismických vln, ale patří sem pravděpodobně i takzvané počáteční teplo, které Země již jen pasívně vyzařuje (Mareš et al. 1979). Míra počátečního tepla se odvíjí od uvažované teorie vzniku Země. Jde buď o teorii impaktů (ta počítá s větším množstvím tepelné energie), nebo o teorii agregace a komprese (uvažující menší množství počáteční energie). Dalším možným zdrojem, který uvádí Smith (1975), je teplo produkované rotací Země, resp. jejím zpomalováním. Rychlost rotace Země se postupně snižuje. Podle některých autorů došlo během existence Země ke zpomalení jedné obrátky na dnešních 24 hodin z původních 3 hodin. Většina tepla, přibližně 90 %, se nejspíše spotřebovala na vznik proudění v oceánech, zbylých 10% však mohlo přispět k ohřevu zemského tělesa. Někteří autoři předpokládají, že většina tepla přiváděného k povrchu je uvolňována rozpadem

radioaktivních prvků v horninách zemské kůry. Podle Myslila (1986) je celková tepelná energie, přenášená k povrchu, ovlivněna převážně exotermickými procesy jaderného rozpadu (tj. radiogenním teplem), teplem vynášeným z pláště a teplem magmatických těles, která intrudovala do kůry. Původ tepla však při termometrickém měření nelze od sebe odlišit a není tudíž možné stanovit poměrnou intenzitu těchto zdrojů.

7.2. Faktory ovlivňující teplotní charakter území Oháreckého lineamentu:

7.2.1. Radioaktivita hornin

Jedním ze zdrojů geotermální energie jsou podle Matolína (1981) vysoce radioaktivní geologická tělesa uložená při povrchu a v menších hloubkách, ve kterých tepelná produkce přítomných radioaktivních prvků může představovat potřebný zdroj energie. Přeměny radionuklidů provázejí uvolnění tepla. Hlavními zdroji uvolněné energie v horninách jsou U, Th a K. Tepelná produkce A radioaktivních prvků v horninách o hustotě ρ se vyjadřuje v μWm^{-3} ; A se stanoví jako součin hustoty ρ a součtu násobků koncentrací Q_i radioaktivních prvků a tepelné produkce jednotlivých hmot radionuklidů A_{1i} (viz tabulka 4).

Tab. 4. Tepelná produkce

Radionuklid	$A_1, \text{J.g}^{-1}\text{rok}^{-1}$
^{238}U rozpadová řada	2,97
^{235}U rozpadová řada	18,00
U a produkty rozpadu	3,06
^{232}Th a rozpadová řada	0,84
^{40}K	0,92
K	$1,13 \cdot 10^{-4}$

Tepelná produkce A_1 jednotkové hmoty radionuklidu (výchozí data podle F. Birche In J. Adams – P. Gaspariny 1970)

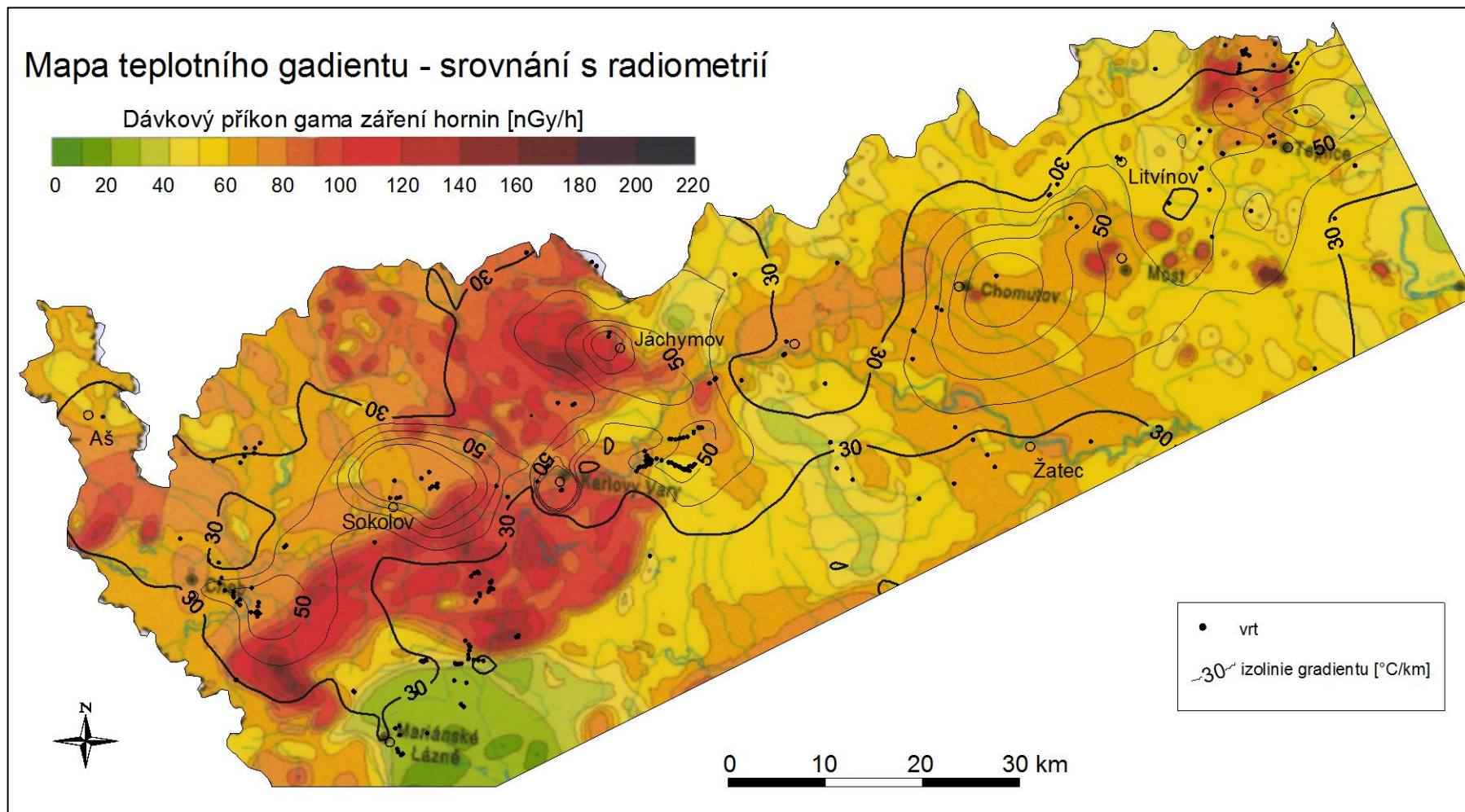
Krušnohorské krystalinikum oblasti krušnohorsko-durynské má převážně monotónní pole aktivity gama středních hodnot. Zvýšenou aktivitou jsou charakteristické granitoidy krušnohorského plutonu. Kladné regionální zvýšení pole podmiňuje karlovarský masív a těleso teplického křemenného porfyru. Jednotlivé petrograficky odlišné typy granitoidů Smrčinského masívu mají charakteristické obsahy Th. Náplavy řeky Ohře patří k radioaktivně anomálním útvarům nejmladšího stáří (Matolín 1981).

Uvedme si teď některé konkrétní hodnoty radioaktivity oblasti Oháreckého riftu. Zvýšená úhrnná gama-aktivita granitů karlovarského masívu se podle Mrliny (1980) pohybuje v rozmezí 15 - 25 ppm U_{ekv} , přičemž střední hodnota stanovená pro Český masív činí u granodioritů 14,1 ppm U_{ekv} a u granitů jen 13,8 ppm U_{ekv} . Na základě spektrometrických měření bylo zjištěno, že horské žuly mají zvýšený obsah Th oproti průměrné hodnotě v Českém masívu (18 ppm Th). Anomální je zvláště velmi bohatá facie horské žuly na jižním a západním okraji Slavkovské kry, kde činí průměr dokonce 42,5 ppm Th. Nedořešenou zůstává otázka, zda vysoký obsah Th je způsoben původním granitizovaným substrátem, nebo jedná-li se o sekundární akumulace tohoto prvku, neboť bohatá facie tvoří okrajové a stropní části horské intruze. Není tedy možné ohodnotit přesně (zvláště hloubkové) rozmístění Th, což zůstává všeobecným problémem při zjišťování

radioaktivity hornin vůbec. Vcelku obsahují horské žuly více Th ve Slavkovském lese (30 – 35 ppm) než ve vlastním Nejdecko-Eibenstockém masívu (12 – 25 ppm). Obsah U je v celé oblasti slabě nadprůměrný (2 – 10 ppm U), neboť průměrná hodnota v Českém masívu činí 3,5 ppm U. Vysokým obsahem U jsou naproti tomu charakterizovány krušnohorské žuly, zvláště silně autometamorfované typy, jež ve Slavkovské kře představují hodnoty 3 – 22 ppm U. Ostatní horniny – slavkovská ortorula, tepelská žulorula, fylity, svory atd. jsou z hlediska radioaktivity spíše mírně podprůměrné, zjištěné hodnoty se pohybují okolo 10 ppm U_{ekv} , 16 ppm Th a 2,5 ppm U.

Srovnání geotermického gradientu a radioaktivity hornin v oblasti Oháreckého riftu

Radioaktivita hornin má podle řady autorů zásadní vliv na produkci tepelné energie v Zemi, proto lze považovat srovnání výsledků termometrie s radiometrickou mapou za krok vedoucí ke zpřesnění interpretace teplotních anomálií a ověření platnosti tohoto vztahu v SZ oblasti Českého masívu. K tomu účelu byla upravena Mapa teplotního gradientu v oblasti Oháreckého lineamentu (Obr. 6.) a porovnána s výřezem z radiometrické mapy vytvořené Manovou a Matolínem (1995). Výsledné překrytí je vyobrazeno na obrázku 13.



Obr. 13. Radiometrická mapa upravená podle Manové a Matolína (1995) se znázorněnými izoliniemi teplotního gradientu.

Z takto upravené mapy jsou patrná některá místa, kde dochází ke shodným anomáliím pro dávkový příkon gama záření a geotermický gradient. Jedná se především o oblast Karlovarského masívu, který je charakteristický zvýšenými hodnotami gama aktivity. Nad tímto tělesem jsou dvě centra anomálního teplotního gradientu. Jedno nedaleko Jáchymova, kde dva vrty dosahují výrazně zvýšených hodnot a druhé v okolí Karlových Varů, kde byly naměřeny vůbec nejvyšší teploty a gradienty. Naopak je tomu v oblasti Mariánských Lázní, kde horniny vykazují velmi nízké průměrné gama aktivity a naměřeny zde byly i nízké teplotní gradienty. Těleso teplického křemenného porfyru, které má podle Matolína (1981) vliv na zvýšenou gama aktivitu, zasahuje částečně do kladné anomálie geotermického gradientu poblíž Teplic. Jeho S část, v níž byla prováděna řada karotážních měření, však vykazuje naopak střední až nízké hodnoty gradientu a výrazně snížené teploty i ve větších hloubkách. Malé centrum zvýšené radioaktivity se nachází poblíž vrtu 1H045b v centrální části Mostecké pánve, který dosahuje hodnot přes $80 \text{ }^\circ\text{C.km}^{-1}$. Na SZ úpatí Slavkovského lesa, který má podle Mrliny (1980) místy zvýšenou aktivitu, což je patrné i z mapy, leží také jeden z vrcholů teplotního gradientu. Mezi oběma centry zvýšené aktivity je však jistá distance. V oblasti Smrčinského masívu, který má zvýšené obsahy Th a v radiometrické mapě vykazuje zvýšený dávkový příkon hornin, bohužel nebyla zjištěna žádná hodnota gradientu.

Hypotézu o přímé souvislosti obou veličin narušují některé oblasti, kde jsou obě hodnoty ve vzájemném kontrastu. Jedná se o celkem hustě karotovanou část Karlovarské vrchoviny, kde dávkový příkon přesahuje hodnoty 100 nG.h^{-1} , zatímco geotermický gradient nedosahuje ani $30 \text{ }^\circ\text{C.km}^{-1}$. Naopak je tomu v okolí Sokolova, kde vrty rychle dosahují s hloubkou vysokých teplot, ale hodnoty radioaktivity jsou zde jen průměrné. Zvýšené hodnoty obou veličin se v některých případech překrývají. Na základě srovnání v oblasti Ohářeckého lineamentu však není možné s jistotou vyslovit domněnku o přímé souvislosti.

7.2.2. Litologické poměry a tektonika

Jak bylo již uvedeno výše, horninové prostředí, kterým se teplo šíří má zásadní vliv na geotermický charakter sledované oblasti. Různá horninová prostředí se mohou lišit svou konduktivitou, na kterou mají vliv především:

a) Typ horniny, její minerální složení a struktura

Mezi nejlepší vodiče tepla z hojně rozšířených minerálů patří křemen ($k = 8,37 \text{ W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$), z hornin kvarcit, dolomit, anhydrid a kamenná sůl ($k = 4,19$ až $6,28 \text{ W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$). Nejhoršími vodiči tepla mezi minerály jsou živce, z hornin pak hlíny, jíly a jílovce ($k = 0,42$ až $0,84 \text{ W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$). Velká většina hornin, tvořících základní hmotu zemské kůry, má tepelné vodivosti v rozmezí $2,09$ až $4,19 \text{ W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$ a většinou nevykazují zřetelnou anizotropii kromě hornin, na nichž je foliace naprosto zřetelná (fylity, ruly, svory). Horniny vyvěřelé, metamorfované a ze sedimentů karbonáty vykazují obvykle velmi nízkou pórovitost. Tepelná vodivost je dána v podstatě průměrnou tepelnou vodivostí a poměrným zastoupením jednotlivých minerálních komponent skládajících horninu. Vliv pórovitosti a nasycení pórů vodou je zanedbatelný. U písčitojílových hornin tvořících výplň sedimentárních pánví, tj. u slepenců, pískovců, prachovců a jílovců, je součinitel tepelné vodivosti značně ovlivněn pórovitostí a stupněm nasycení pórového prostoru vodou nebo též objemovou vlhkostí. V podstatě lze říci, že k klesá se vzrůstající pórovitostí a naopak roste s přibývajícím objemovou vlhkostí, a tedy se stupněm nasycení pórového prostoru vodou (Mareš et al. 1975).

b) Míra porušení horniny

V oblasti, kterou je Ohárecká riftová zóna, existuje mnoho tektonických linií, po kterých v minulosti docházelo k pohybu a tím ke vzniku zón, které mohou primárně působit jako tepelné izolanty, nebo naopak jako relativní vodiče tepla. Při pohybu dvou horninových masívů po sobě, například v případě střížné zóny, dochází často ke vzniku tektonických jílů, které mají oproti matečné hornině výrazně snížené hodnoty tepelné vodivosti a fungují tak jako izolanty. Během podobných tektonických procesů však vznikaly i zóny, které mohou sloužit pro přednostní šíření teplejší vody směrem k povrchu a tím výrazně zvyšovat teplotu v menších hloubkách. Cirkulace podzemní vody, která je často umožněna právě díky tektonickým poruchám, je pravděpodobně jedním z hlavních ovlivňujících faktorů pro šíření tepla horninovým prostředím (viz kapitola 7.2.5 Přenos tepla fluidy a topografie).

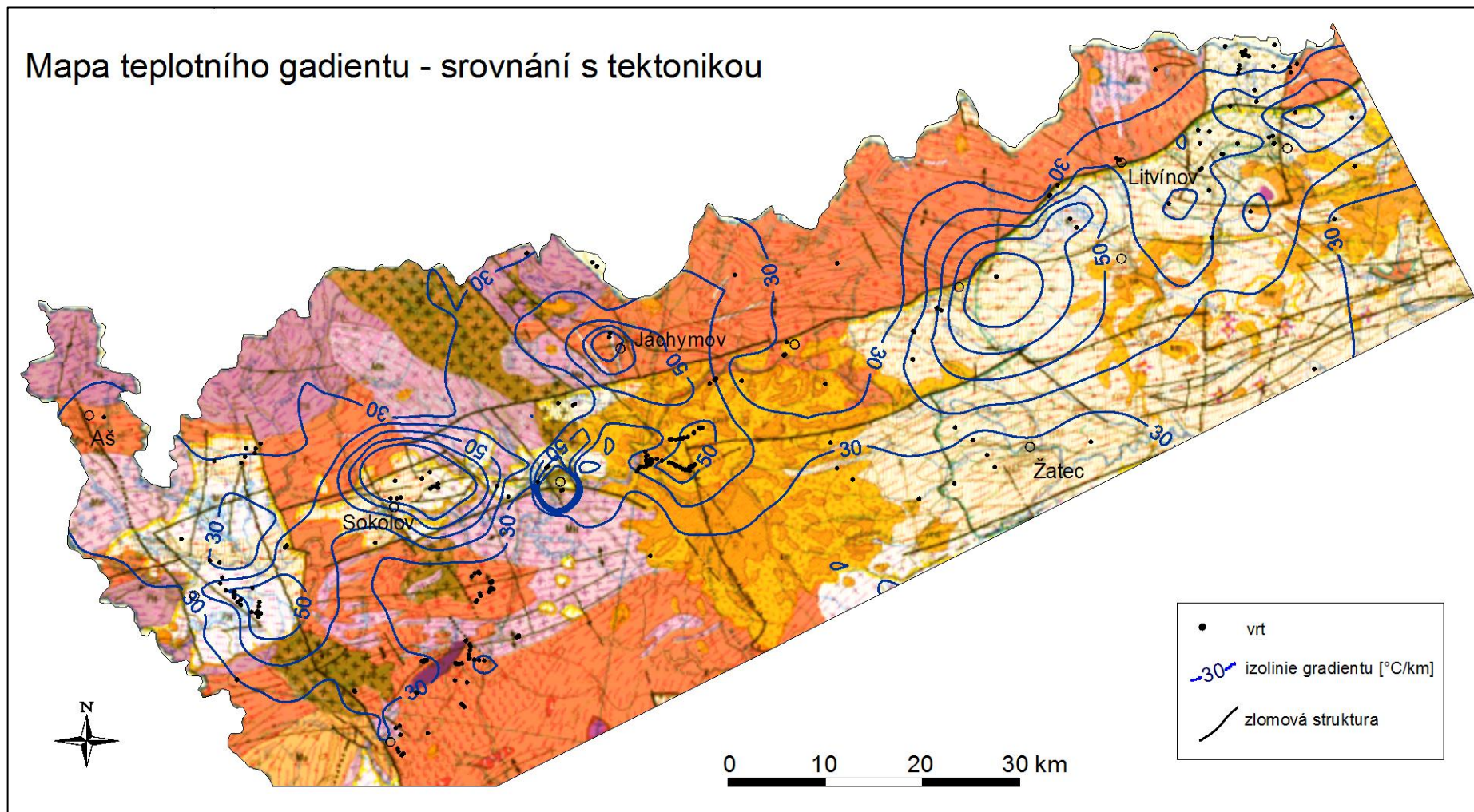
Srovnání geotermického gradientu a tektonické situace v oblasti Oháreckého riftu

Výřez z Tektonické mapy ČSSR, zkonstruované Mahelem, Kodýmem a Malkovským, s vyznačenými izoliniemi teplotního gradientu, dokládá především vztahy mezi strukturálními zlomy Oháreckého lineamentu a rozložením teplotních anomálií. Některá centra zvýšeného teplotního gradientu, jakým je oblast Mostecké pánve nebo okolí Teplic, se nacházejí přímo na podkrušnohorském zlomovém pásmu, nebo v jeho blízkosti. Jiné výskyty anomálií, například v oblasti Doupovských hor, okolí Sokolova, Karlových Varů a Jáchymova, se omezují na křížení dalších zlomových struktur. Anomálii v Chebské pánvi dokládá měření z vrtů hloubených také v těsné blízkosti zlomu. Dá se říci, že všechna místa zvýšeného teplotního gradientu ve studované oblasti se nalézají v blízkosti tektonických zlomů. Tento princip však neplatí i opačně,

nelze tedy říci, že každý zlom způsobuje teplotní anomálii. Nasnadě je předpoklad, že část zlomů Oháreckého lineamentu slouží k přednostnímu transportu tepla k povrchu a má dominantní vliv na teplotní charakter území, zatímco jiné zlomy jsou z nějakého důvodu geotermálně pasivní. Situace je znázorněna na obrázku 14.

7.2.3. Geologický vývoj oblasti

Hazdrová (1981) uvádí, že byl pozorován úzký vztah mezi hodnotou tepelného toku a stupněm a stářím tektonické aktivity geologických oblastí (oblasti recentního vulkanismu, mladá pásemná pohoří), případně dalšími strukturními anomáliemi ve stavbě zemské kůry. Lee – Uyeda (1965) potvrzuje, že platí tato úzká korelace mezi hodnotou tepelného toku a tektonickou stavbou – oblasti vysoké geotermální aktivity se obvykle kryjí s oblastmi mladé tektoniky, popř. s oblastmi recentní vulkanické činnosti. Oblasti tektonicky konsolidované vykazují normální tepelný tok a nejnižší tepelné toky byly pozorovány na starých pevninských štítech.



Obr. 14. Tektonická mapa upravená podle Mahela, Kodyma a Malkovského s vyznačenými izoliniemi teplotního gradientu.

Tito autoři, ale i další se shodují na tom, že geologická historie má pravděpodobně zásadní vliv na teplotní projevy, konkrétně na velikost tepelného toku ve zkoumané oblasti. Ze vztahu pro výpočet tepelného toku q (viz kapitola 2. Způsoby šíření tepla, základní pojmy a jednotky) vyplývá následující: Platí-li předpoklad, že k (měrná tepelná vodivost) hornin stejného litologického typu nezávisí na stáří vzniku horniny, lze z předchozích úvah o vztahu tepelného toku a geologické historie oblasti vyvodit podobné závěry i o geotermickém gradientu, který je spíše než tepelný tok předmětem této práce. Geologickými procesy, které ovlivňují hodnoty teplotních gradientů, jsou tedy hlavně mladý vulkanismus a tektonika. Oháreckou zónu s projevy saxonské tektonické činnosti a tercierního vulkanismu lze tedy považovat za oblast s určitou teplotně anomální predispozicí.

Srovnání geotermického gradientu a geologie v oblasti Oháreckého lineamentu

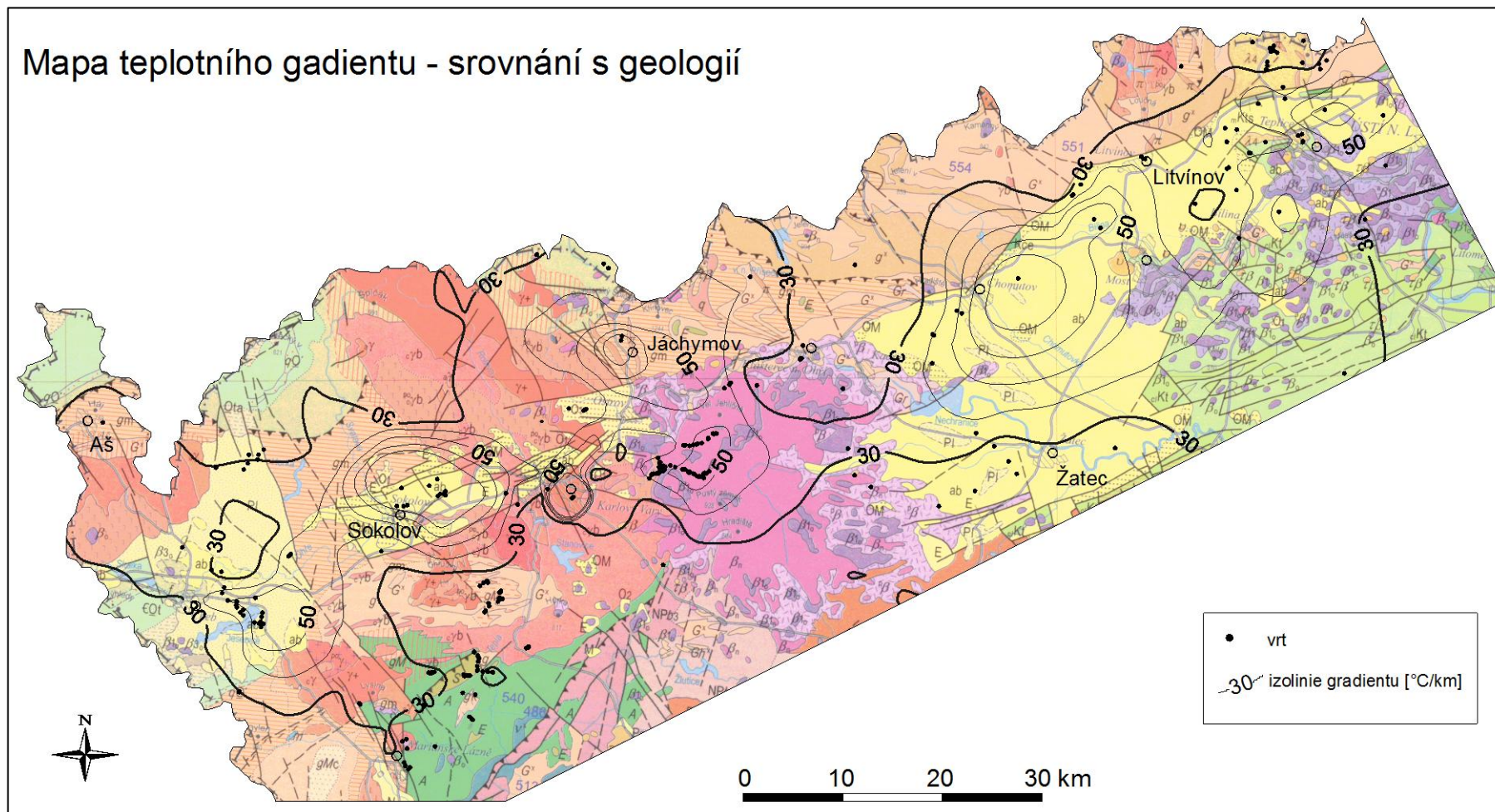
Z výše uvedeného vyplývá, že stáří a typ hornin má vliv na teplotní projevy ve sledované oblasti. Podívejme se nyní na konkrétní situaci v námi studovaném území za účelem ověření souvislostí mezi teplotními anomáliemi naměřenými ve vrtech a přibližným stářím a typem okolních hornin. Ty lze vyčíst z Geologické mapy České republiky zpracované Chábem, Stráníkem a Eliášem (2007), která je upravena na obrázku 15. Hlavní teplotně anomální oblasti, podložené dostatečným počtem měření se nacházejí v Chebské pánvi, která je vyplněna tercierními terestrickými sedimenty, převážně písky, štěrky a jíly (středními hodnoty konduktivity těchto hornin se, podle Čermáka a Rybacha 1982, pohybují přibližně mezi $2 - 2,5 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$). Další oblasti s charakteristickými teplotními projevy jsou v okolí Sokolova, Chomutova a Teplic, tedy v pánevních oblastech, které jsou stejně tak vyplněny sedimenty kenozoika, navíc místy s obzory uhelných slojí, které konduktivitu vrstevního sledu snižují. Výrazná anomálie Doupovských hor zasahuje tercierní převážně alkalické intruzivní nebo výlevné bazalty (střední hodnoty konduktivity bazaltů se podle Čermáka a Rybacha 1982

pohybují okolo $1,95 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$). Karlovy Vary, kde byly také naměřeny vysoké hodnoty teplotního gradientu, leží na prvohorních variských granitech. Konduktivita granitů se pohybuje kolem střední hodnoty $3,05 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ (Čermák, Rybach 1982). Kromě naposledy uvedeného, leží centra teplotních anomálií většinou v tercierních vyvřelých nebo sedimentárních horninách, avšak jednoznačná závislost teplotních deviací na litologickém typu, nebo stáří hornin není z takto upravené mapy patrná.

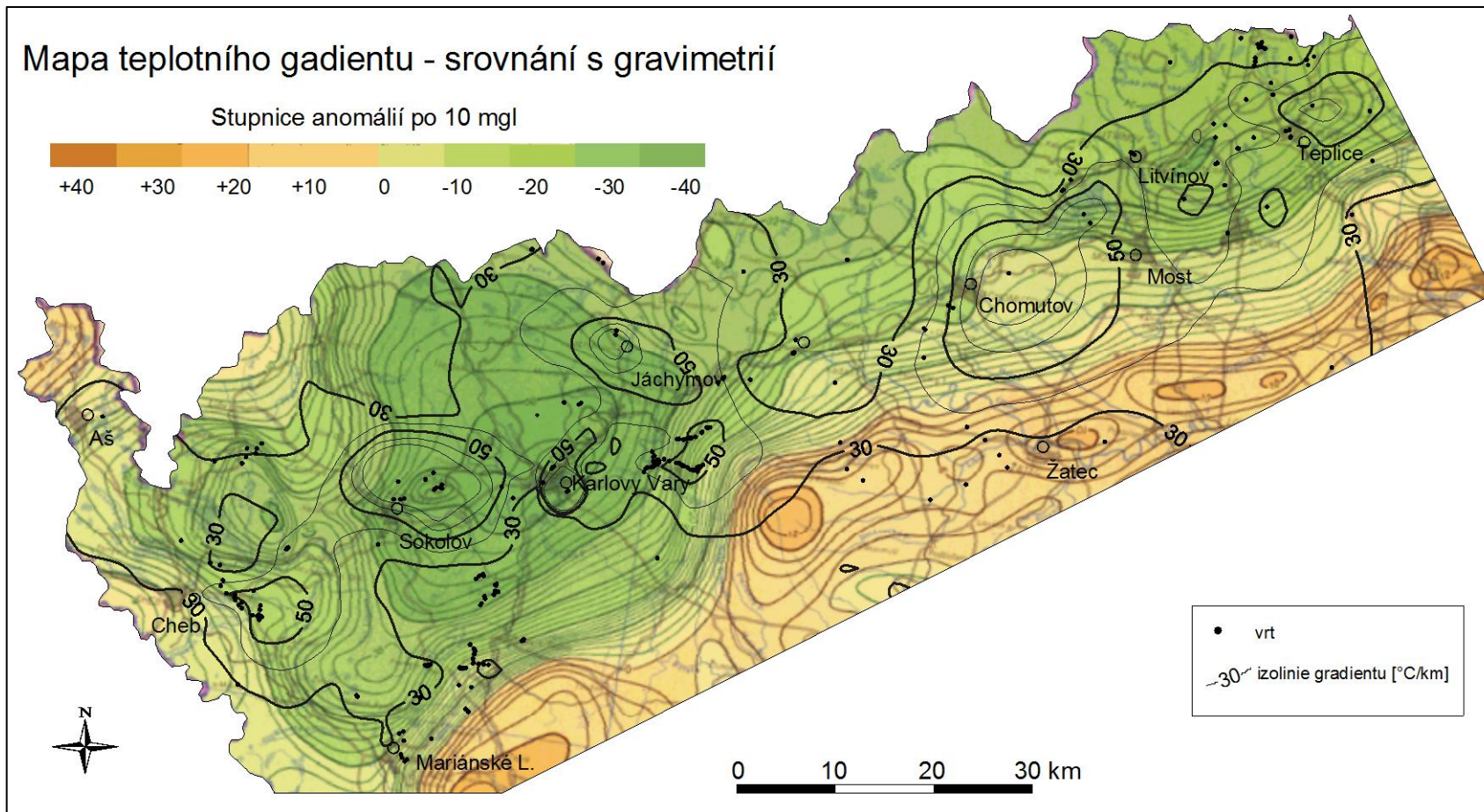
Pro srovnání získaných hodnot teplotních gradientů s geologickou situací v okolí vrtů vykazujících anomální teplotní projevy by bylo vhodnější použít záznam o litologii přímo z daného vrtu, který přesně vymezuje polohy, kterými opravdu prochází. Srovnání s Geologickou mapou České republiky je méně přesné, avšak pro rozsah této práce dostačující.

7.2.4. Mocnost kůry a teplotní anomálie

Podle některých autorů (Mrlina 1980, Čermák 1984) lze odvodit obecnou závislost mezi tloušťkou kůry a tepelným tokem. Tloušťka kůry ovlivňuje přínos tepla z pláště k povrchu. Rozložení teplot v zemské kůře vykazuje mimo jiné nepřímou závislost na její mocnosti a zvýšené anomálie lze tedy očekávat v místech malé mocnosti zemské kůry, tj. v oblastech hlubinných lineamentů a jejich křížení. V oblasti Molodanubika, kde byla hloubka Moho-diskontinuity seismicky zjištěna 38 – 40 km, má tepelný tok hodnotu $40 - 50 \text{ mWm}^{-2}$, směrem k okrajovým blokům Českého masívu se zvyšuje na $60 - 80 \text{ mWm}^{-2}$, přičemž mocnost kůry klesá na 30 – 32 km. Ohárecký rift, který leží v severozápadní části českého masívu přibližně v pruhu Karlovy Vary – Teplice, je jednou z geotermálně anomálních oblastí. To lze potvrdit i podle druhotných indikací – přítomnost rozsáhlého tercierního vulkanismu a s ním spojená teplotní konvexe ze svrchního pláště.



Obr. 15. Geologická mapa upravená podle Chába, Stráníka a Eliáše (2007) s vyznačenými izoliniemi teplotního gradientu, legenda viz příloha 3.



Obr. 16. Srovnání geotermického gradientu s upravenou gravimetrickou mapou vydanou Ústředním geologickým úřadem v Praze (1965)

Srovnání geotermického gradientu a mapy tíhových anomálií v oblasti Oháreckého riftu

Srovnání geotermického gradientu s upravenou mapou úplných Bougerových izanomál vydanou Ústředním geologickým úřadem v Praze (1965) je na obrázku 16. JV část území vykazuje spíše kladné tíhové anomálie, které, jak bylo uvedeno výše, mohou souviset s větší mocností zemské kůry, zatímco na SZ převládají záporné anomálie, spojené pravděpodobně s menší mocností kůry oslabené v okrajových částech Českého masívu a nad hlubinnými zlomy. Nejvýraznější záporné anomálie, dosahující hodnot - 30 až - 40 mGal, leží v plošně celkem rozsáhlé oblasti přibližně mezi Sokolovem a Jáchymovem a také v pásu mezi Teplicemi a Litvínovem. V obou případech jsou tyto tíhové anomálie doprovázeny výraznějšími teplotními projevy, což potvrzuje předpoklad uvedený Mrlinou (1980) a Čermákem (1984).

7.2.5. Přenos tepla fluidy a topografie

Vzhledem k tomu, že tepelná vodivost horninových masívů je zhruba totožná, je anomální tepelný tok podmíněn podstatně vyšším geotermickým gradientem. Vysoký gradient však nemůže pokračovat do větších hloubek, aniž by vedl k natavení. Z toho lze usuzovat, že intenzivnější přenos tepla k povrchu je v geotermálních oblastech umožňován hydrotermálním procesem (Myslil 1986). V případě některých kolektorů (porézního horninového prostředí s efektivní porozitou nezbytnou pro pohyb podzemní vody), může voda hrát roli média přirozené konvekce tepla. Tento způsob přenosu tepelné energie se uplatňuje spíše výjimečně a to u hrubozrnných porézních sedimentů. Velikost přenosu tepla v těchto horninách ve srovnání s konduktivním přenosem je však zanedbatelná. Srovnatelná by byla (jak uvádí Mareš 1975) jen v případě

teplotního gradientu $3 - 4 \text{ } ^\circ\text{Cm}^{-1}$. Takové podmínky se však v přírodě nevyskytují. Významněji se však přirozená konvekce uplatní při pohybu vody podél hlubokých zlomových systémů, kde se dostává termální voda až k povrchu, a může tak značně ovlivnit teplotní poměry v bezprostředním okolí zlomového systému. Vynucená konvekce může ovlivnit teplotní systém v těžných kolektorech artéských podzemních vod, k jejichž čerpání též dochází na mnoha místech studované oblasti.

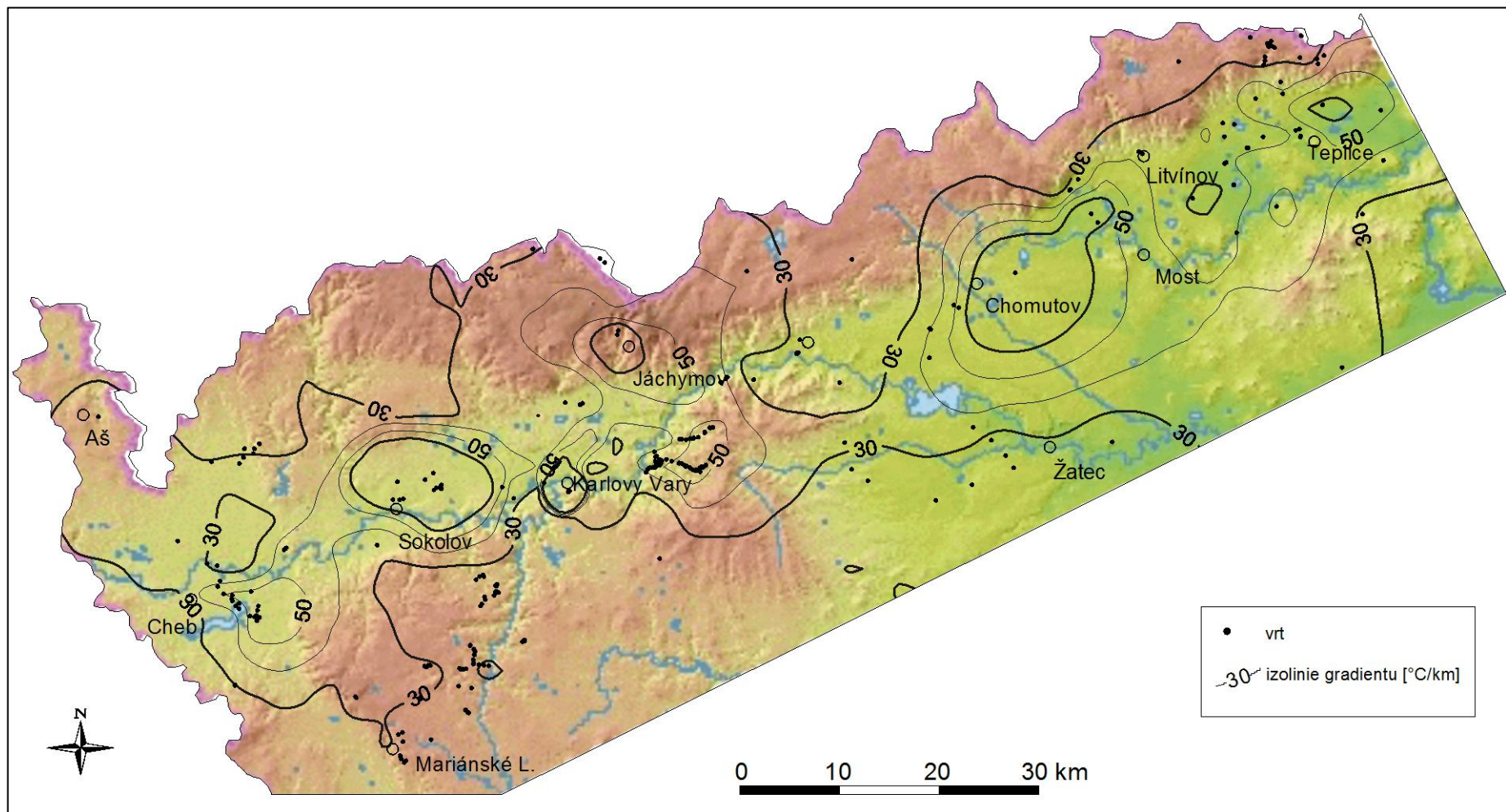
Z obrázku 17 je patrné, že naprostá většina teplotně anomálních oblastí se nachází v zónách topografických depresí, které jsou podle řady autorů důsledkem tektonických pohybů Ohárecké riftové zóny. Tyto deprese jsou místy lemovány tělesy zvýšené radioaktivity, které uvolňují, jak bylo již zmíněno, nemalé množství energie. A právě v těchto částech ohárecké kotliny se nachází nejvíce vrtů zaznamenávajících směrem do hloubky vysoký teplotní gradient. Existuje nějaká spojitost mezi těmito jevy? Je možné, že by byla meteorická voda infiltrovaná v místech těchto elevací se zvýšenou gama aktivitou schopna transportu takového množství energie, které by se výrazně podílelo na teplotním charakteru zmíněných anomálních oblastí, tedy také v místech pravděpodobného vývěru těchto vod? Nebo jsou to tektonické zlomy dosahující místy velkých hloubek, jimiž fluida vynáší tepelnou energii získanou ve spodnějších partiích kůry?

Těleso teplického křemenného porfyru, jehož S část tvoří elevace krušných hor a J část leží naopak v rozsáhlé depresi, je jedním z příkladů, na kterém je možné demonstrovat vliv podzemní vody na přenos tepla. V místech o vyšších nadmořských výškách dochází k infiltraci meteorických chladných vod, které ochlazují horniny v S části tohoto území. Voda, která se vlivem gravitace přesouvá do nižších poloh, pak získává teplo z okolního prostředí a vyvěrá v pánevní oblasti okolí Teplic, kde byly ve vrtech naměřeny anomálně zvýšené teploty.

Podíl na ohřívání vody má pravděpodobně více složek, z čehož mezi hlavní patří nejspíše teplo vyzářené radioaktivními horninami, teplo, které se šíří k povrchu podél hlubinných zlomů a teplo vnesené do svrchních částí kůry v podobě mladších vulkanických těles během terciéru. Jaký je poměr mezi těmito a případně dalšími vlivy však není známo. Teplotní situace v okolí teplického porfyrového masívu je dobře patrná například z mapy na obrázku 10, ale i z dalších map. K podobným závěrům navádí i výsledky dalších průzkumných prací na území České republiky.

Na teplotním vývoji směrem do hloubky se můžou pravděpodobně do jisté míry podílet i povrchové vlivy, kterými se ve svých pracích zabývají někteří další autoři. Mezi takové vlivy se řadí například klimatické změny, blízkost větších vodních ploch, vliv zástavby nebo hodnota albeda.

Bližší rozbor výsledků této práce většinou potvrzuje některé hypotézy o zdrojích a způsobech šíření tepla ve svrchních částech zemské kůry. Ukazuje předpokládanou souvislost anomálních teplotních projevů s některými strukturními prvky, s místy zvýšené radioaktivity i mladé tektonické činnosti. Hlavním pojítkem těchto fenoménů se zdá být vliv dlouhodobého proudění podzemní vody.



Obr. 17. Srovnání geotermického gradientu s topografií v oblasti Oháreckého riftu (převzato z Free Top Links 2010).

8. Závěr

Jako podklad pro tuto práci byl získán poměrně obsáhlý soubor dat. Použitelné termometrické údaje pro konstrukci map pochází z 281 vrtů vyhloubených v průběhu posledních 40 let. Jejich rozmístění je však značně nerovnoměrné, a zatímco někde velmi hustě mapují průběh teploty se značnou shodou, jinde použitelný záznam zcela chybí. Pro určení regionálně teplotního charakteru území jako celku se použité množství dat zdá být dostatečné. Při pohledu na výsledné mapy lze potvrdit předpokládaný průběh anomální zóny, tedy podél centrální části Oháreckého lineamentu. Srovnáním teplotního trendu s některými dalšími poznatky z oblasti geologie a geofyziky lze na tomto území často ověřit platnost některých předpokladů o souvislostech teplotních projevů a dalších fenoménů, jakými jsou například rozdílná mocnost zemské kůry, tektonická stavba, zvýšená radioaktivita hornin a v neposlední řadě přenos tepla cirkulací podzemní vody.

Zkonstruovány byly i detailní mapy geotermického gradientu a řezy ekvitemplotních ploch pro 6 vybraných oblastí zvýšeného zájmu, které mají umožnit podrobnější studii těchto lokalit. Mapy ekvitemplotních ploch vytvořené pro tuto práci mají jisté rezervy a vzhledem k množství údajů a jejich často nerovnoměrnému rozmístění jde spíše o celkové teplotní charakteristiky oblasti, nežli o jejich detailní popis. Tento způsob vizualizace však může v ideální podobě poskytovat nedocenitelný náhled do teplotního vývoje, jenž při lepším zpracování topografie a při volbě parametrů v souladu s konkrétním zadáním, jistě může dávat dobrou představu například o volbě místa, vhodném pro dosažení potřebné teploty.

Ve snaze zpřesnit lokalizaci teplotně zajímavých oblastí je jistě jednou z možností podrobnější zpracování map teplotních a ekvitemplotních řezů. Při podrobnějším průzkumu těchto lokalit by bylo jistě vhodné dohledat přesné

souřadnice některých vrtů, jejichž pozice byla stanovena jen přibližně na základě lokalizace v mapě. Dalším krokem by jistě mohla být nová termometrická měření ve vrtech, v nichž měření buď vůbec neproběhla, nebo byl záznam výrazně porušen.

Dále navrhuji zpracování litologických a petrologických dat z vrtů ve zvolené oblasti a to za účelem stanovení konduktivit, a tedy vlivu horninových typů na teplotní režim. Na základě těchto výsledků bude možné stanovit hodnoty tepelných toků, se kterými pracuje většina ostatních autorů.

Pro přesnější náhled do problematiky geotermického charakteru oblasti Oháreckého lineamentu by bylo vhodné vypracovat hlubší studii na základě detailnějšího srovnání výsledků termometrie nejen s dalšími dostupnými geofyzikálními metodami, ale i s metodami ostatních oborů, jako jsou hydrogeologie nebo geochemie. Jen tak je možné získat komplexnější představu o termodynamických procesech probíhajících ve studované oblasti.

Hodnotou této práce je, kromě přesně stanovených hodnot bez zkreslujících odhadů nebo rozsáhlejších extrapolací, také nabídka možných způsobů vizualizace těchto výsledků a jejich srovnání s dalšími poznatky z oblasti geofyziky a geologie, které poukazují na základní principy šíření tepla horninami. Tato diplomová práce splňuje zadání v mezích jeho rozsahu a nabízí tak relativně komplexní přehled geotermické situace v oblasti Oháreckého lineamentu a poukazuje na některé možnosti využití dalších geofyzikálních metod v problematice šíření tepla. Mohla by být dobrým podkladem pro detailnější průzkum teplotně anomálních oblastí tohoto území.

Praha, září 2010

Jakub Schinkmann

.....

Seznam použité literatury

Birch, F. (1970): Tab. In: J. Adams – P. Gaspariny, 1970.

Crain, I. K. (1968): The glacial effect and the significance of continental terrestrial heat flow measurements, *Earth and Planetary science Letters*, 4, 69-72.

Čermák, V., Rybach (1982): Tab. 10.1. Thermal conductivity of different rocks at room temperature.

Free Top Links (2010): Reliéfni mapa ČR pro osobní účely. Free Top Links, <http://free-top.tym.cz/download.php?ds=slepa-mapa-cr>, 17.1.2010.

Hazrdová et al. (1981): Geotermální energie a její využití. Ústřední ústav geologický, Praha 1981.

Hazrdová et al.: Možnosti využití zemského tepla hlubších zón vybraných oblastí ČSR. MS.

Cháb, J., Stráník, Z., Eliáš, M. (2007): Geologická mapa České republiky 1:500000. Odpovědný redaktor: Tomas, R., Česká geologická služba, Praha 2007.

Ibrmajer, J. (1965): Přehledná gravimetrická mapa ČSSR, Mapa úplných Bougerových izanomál 1:500000. Odpovědný redaktor: Ibrmajer, J., Ústřední geologický úřad, Praha 1965.

Jirovská, J. (2000): Přínos karotáže při výzkumu chebské pánve. Diplomová práce. MS, Přírodovědecká fakulta UK, Praha 2000.

Květoň, V., Rett, T., Rybák, M. (1999): Mapa průměrné roční teploty vzduchu za období 1961-1990 [°C]. Česká republika. ČHMÚ 1999.

Lee, W. H. K. – Uyeda, S. (1965): Review of heat flow data. In: Lee W. K. (ed): Terrestrial heat flow. – Geophys. Monogr. 8, Amer. Geophys. Univ. Washington 1965.

Manová, M., Matolín, M. (1995): Radiometrická mapa České republiky 1:500000. Zpracoval a vydal Český geologický ústav, Praha 1995.

Mahel, M., Kodým, O., Malkovský, M.: Tektonická mapa ČSSR. Geologický ústav Dionýza Štúra – Ústřední ústav geologický, nedatováno.

Matolín, M. (1981): Radioaktivita hornin jako zdroj tepla. In: Hazrdová (1981): Geotermální energie a její využití, Praha 1981.

Mareš, S. (1976): Měření geofyzikálních vlastností kapalin ve vrtu. Učební texty postgraduálního studia užití geofyziky 1975-1976 geofyzikální měření ve vrtech. Skrypta, Přírodovědecká fakulta UK, Praha 1976, 55 s.

Mareš, S. (1976 b): Komplexní interpretace karotáže v hydrogeologických a inženýrsko-geologických vrtech. MS, Přírodovědecká fakulta UK, Praha 1976, 81 s.

Mareš, S. (1979): Úvod do užití geofyziky. Nakladatelství technické literatury, Praha 1979, 590 s.

Mrlina, J. (1980): Poznatky k výzkumu hlubinné stavby Ohárecké zóny s ohledem na geotermální poměry. MS, Katedra užití geofyziky, PřF UK, Praha, 1980.

Myslil, V. (1986): Výzkum využití tepla podzemních vod. Ústřední ústav geologický - Výroční zpráva. MS, Praha, listopad 1986.

Pačes, T. (1978): Geochemické indikátory teploty. In: Hazrdová (1981): Geotermální energie a její využití, Praha, 1981.

Petránek, J. (1993): Malá encyklopedie geologie, České Budějovice 1993, ISBN 80-900351-2-4.

Procházka, M. (2010): Informce o poznatcích a zkušenostech z karotážní praxe. Ústní sdělení, RNDr. Martin Procházka, sekce karotáž, AQUATEST a.s.

Smith, P.J. (1975): Topics in Geophysics. The Open University, Buckinghamshire 1975, ISBN-84-291-4615-6.

Šamsula, J. In Hazdrová et al.: Možnosti využití zemského tepla hlubších zón vybraných oblastí ČSR. MS, str. 47.

Škvor, V. In: Myslil, V. (1986): Výzkum využití tepla podzemních vod. Ústřední ústav geologický - Výroční zpráva, Praha, listopad 1986, 2.1 - 2.2 kap.

Seznam příloh

P1 - Seznam vrtů: Tab. P 1.1 až P 1.7	str. 78
P2 - Mapy a řezy zájmových území, listy P 2.1 až P 2.6	str. 85
P3 - Legenda ke geologické mapě	str. 97

Tab. P 1.1. Seznam vrtů použitých pro konstrukci map v oblasti Oháreckého lineamentu

ZPRÁVA	VRT	SOUŘADNICE			Hmax [m]	Tmax [°C]	G [°C/km]
		X	Y	Z			
Aš - Skřivánčí vrch	HV-4	1004530	896493	602	20	8,7	35,0
Barbora	OL-35	976374	779820	260	137	13,8	29,3
Barbora	DS-23	974978	783879	313	300	28,3	39,3
Barbora	HK-184	979044	783689	225	280	26,6	40,0
Barbora	HK-191	978934	783519	222	230	22,7	40,0
Barbora	HD-41	976354	783715	269	225	19,7	43,4
Barbora II	VR-30	975125	782720	283	1108	38,4	19,9
Barbora II	JE-97	977457	781460	228	1062	27,9	30,4
Bečov nad Teplou	BT-3	1027185	854015	541	67	8,6	13,4
Bečov nad Teplou	BT-1	1027005	853800	564	120	9,5	28,7
Bečov nad Teplou	BT-2	1027140	853815	549	80	8,5	30,2
Bílina	BJ-1-OP	986015	782478	249	150	15,0	39,6
Bochov	B-1	1018817	840272	684	106	8,9	16,2
Bořislav	SH-10	984150	769860	358	180	18,1	28,0
Brodce - odkaliště	PJ-107	1001130	822257	430	40	9,9	20,0
Cínovec	CN-206	966963	779402	828	605	17,5	15,5
Cínovec	CN-211	968336	779652	745	398	12,1	16,3
Cínovec	CN-207	969115	779773	569	294	15,3	20,9
Cínovec	CN-116	966735	779009	798	297	9,8	23,0
Cínovec	CN-42	967229	778972	805	587	20,7	23,2
Cínovec	CN-43	967065	779165	805	557	17,5	25,5
Cínovec	CN-45	967398	778674	797	400	16,5	30,8
Cínovec	CN-204	968693	779660	599	206	13,2	32,2
Cínovec	CN-202	967285	779300	854	957	36,3	34,3
Čeradice	ZK-1	1008431	805608	262	1372	46,1	19,9
Čeradice	1H044c	1009676	804811	328	100	11,6	30,0
Černický potok	JZ-142	981651	799129	300	33	10,0	25,0
Černický potok - těsnící stěna	CN-106	981751	799229	343	32	8,9	11,8
Číhaná u Mariánských Lázní	HJ-3	1034361	859407	704	92	8,2	15,2
Číhaná u Mariánských Lázní	HJ-4	1034061	859707	700	74	8,1	15,9
Číhaná u Mariánských Lázní	ČJV-3	1034361	859407	705	70	13,2	20,2
Číhaná u Mariánských Lázní	ČJV-4	1034311	859457	700	69	13,0	20,6
Číhaná u Mariánských Lázní	ČJV-5	1034261	859507	700	35	12,4	36,7
Dolní Kramolín	HV-3	1044562	863393	515	50	9,0	24,0
Dolní Kramolín	HV-2	1044489	863443	516	50	9,9	28,0
Dubí	1M107B	970853	778076	400	68	9,7	35,9
důl Merkur	MK-24	995663	813227	403	130	12,8	36,4
důl Merkur	ZD-65	995763	813127	368	69	11,9	39,7
důl Merkur	MK-22	995713	813177	390	58	11,5	60,7
Farářská kyselka - Mariánské L.	BJ-2FK	1032896	864359	770	47	8,5	31,3

Tab. P 1.2. Seznam vrtů použitých pro konstrukci map v oblasti Oháreckého lineamentu

ZPRÁVA	VRT	SOUŘADNICE			Hmax [m]	Tmax [°C]	G [°C/km]
		X	Y	Z			
Ferdinandovy Prameny	HJ-53	1038668	866261	577	58	6,3	19,7
Ferdinandovy Prameny	HJ-65	1038690	866255	576	55	9,5	42,9
Fláje	VM-14	968764	788305	804	471	10,9	18,2
Fojtovice	E-16	966197	776031	816	813	21,8	18,2
Fojtovice	E-6	969042	774329	739	734	23,3	24,7
Fojtovice	E-12	968522	774461	791	701	23,6	26,1
Fojtovice	E-11	968388	776135	733	577	20,6	26,5
Fojtovice	E-4	968188	773714	746	824	37,6	41,5
Františkovy lázně	BJ-1	1017056	888538	447	247	18,3	39,1
Horní Bříza	HV-1	1058481	823498	378	74	10,3	34,1
Horní Slavkov-Smrčina	V-11	1020612	857871	627	262	14,6	17,2
Horní Slavkov-Smrčina	V-5	1020926	858653	637	72	10,1	18,1
Horní Slavkov-Smrčina	V-3	1020611	858313	621	278	13,5	22,8
Horní Slavkov-Smrčina	V-2	1020451	857951	611	342	15,2	26,2
Hořovičky	1H079b	1024812	804938	331	54	10,6	31,8
Hotel Espalande - Mariánské L.	S-1	1036320	866033	662	136	9,4	19,0
Hotel Rudolf - Mariánské L.	HJ-35	1038971	866156	572	45	7,0	28,6
Chbany	H-4	1005589	808889	282	430	25,4	37,4
Cheb	V-1	1022883	883109	466	178	14,9	26,5
Cheb	V-11	1024610	881295	445	106	8,7	27,7
Cheb	V-7	1023319	882398	454	194	13,7	35,5
Cheb	HV-19	1022382	883952	463	180	14,9	40,2
Cheb	V-10	1022131	881198	451	142	14,7	43,3
Cheb	V-5	1021070	884309	455	134	14,6	45,0
Cheb	V-8	1023882	882398	453	126	9,9	45,2
Cheb	V-3A	1023076	883061	465	177	17,9	57,8
Cheb	V-9	1022524	883061	462	115	13,9	60,8
Cheb	V-14	1021636	884528	458	134	16,8	81,5
Chomutov - Spořice	SP-128	993310	810797	333	150	18,4	40,0
Chomutov - Spořice	SP-131	993565	810313	346	130	18,5	63,3
Chotěšov	2H173	1001171	761305	190	60	11,7	20,0
Jáchymov - HGP (spodní patro)	HV-14	995855	844415	806	530	30,3	42,2
Jehličná	JE-50	1011679	862306	456	236	30,7	83,5
Jehličná	3P	1011796	862120	449	260	31,6	91,8
Jehličná	1P	1011410	862123	468	216	28,5	92,9
Jehličná	AL58	1010221	862957	442	197	26,2	96,4
Jehličná	JE-49	1011695	862653	440	189	30,0	105,8
Jehličná	H-11	1010872	863763	452	239	35,2	115,8
Jehličná	59P	1011090	866534	447	140	18,7	133,5

Tab. P 1.3. Seznam vrtů použitých pro konstrukci map v oblasti Oháreckého lineamentu

ZPRÁVA	VRT	SOUŘADNICE			Hmax [m]	Tmax [°C]	G [°C/km]
		X	Y	Z			
Jehličná	2P	1011905	862886	418	209	33,3	138,7
Jesenice	HP-10P	1024534	880662	472	45	9,0	25,0
Jesenice	HP-12P	1023593	880486	450	46	11,5	82,4
Jesenice	HP-2P	1024034	880562	463	45	10,0	103,4
Jesenice II.	HP-5P	1024697	880819	475	80	12,0	23,8
Jesenice u Chebu	HP-4-PA	1024742	880368	447	101	13,1	26,9
Jindřichov (u Chebu)	HP-12PB	1019320	885601	433	140	16,6	36,3
Jiřetín VČSA	CN-56	980633	798363	298	220	12,3	35,0
Karlovy Vary	J-9	1009575	850768	501	35	9,3	23,3
Karlovy Vary	HJ_1	1011203	851857	379	465	22,5	30,2
Karlovy Vary	J-8	1009675	850868	510	37	9,5	30,3
Karlovy Vary	HJ-2B	1011631	856045	472	143	17,8	68,6
Karlovy Vary	HJ-1	1011900	857373	464	1250	47,0	31,2
Karlovy Vary	J-12	1009775	850968	520	37	10,2	85,3
Karlovy Vary	BJ-70	1012029	849289	382	71	75,6	243,2
Karlovy Vary	HJ-21	1012096	849422	381	87	35,0	261,3
Karlovy Vary - Tašovice	HJ-2A	1012761	854883	377	140	14,5	20,0
Karlovy Vary - Tašovice	HJ-2B	1011631	856045	472	140	16,9	67,1
Kláštorec nad Ohří	BJ-1	998177	826482	295	80	11,1	12,9
Kláštorec nad Ohří	HV-3	998143	826510	297	98	9,9	19,9
Kláštorec nad Ohří	HJ-6	996796	826247	373	120	10,6	26,4
Kláštorec nad Ohří	HV-4	998077	826382	297	120	11,0	28,0
Kláštorec nad Ohří	BJ-2	998202	826530	295	80	12,2	28,3
Kláštorec nad Ohří	HV-5	998115	826526	299	99	10,9	33,1
Komořany VČSA jáma	KO-17	984990	796394	196	60	16,1	52,5
Komořany VČSA jáma	KO-16	984103	797045	196	240	29,0	50,6
Korunní	H-21	1000650	833584	470	75	13,1	33,3
Korunní	BJ-19	1001074	834131	345	80	13,7	42,5
Korunní	BJ-32	1001084	834158	340	46	11,7	48,1
Korunní	HV-14	1000700	833634	403	60	13,0	49,1
Korunní	BJ-38	1000600	833534	411	58	12,1	80,0
Korunní - kyselka	HV-34	1008494	840574	478	70	9,6	13,6
Korunní - kyselka	HV-25	1009691	841348	386	100	12,9	38,6
Korunní - kyselka	HV-26	1009566	835847	501	98	15,8	49,2
Kovářská	K-1	989899	831536	862	406	22,2	41,3
Krásno	HU-10	1022124	856652	667	427	15,5	18,4
Krásno	HU-20	1022292	856700	668	446	19,9	24,9
Krásno	HU-17	1022673	857802	677	296	14,7	27,2
Krásno	HU-29	1022234	856407	653	304	14,1	28,9
Krásno	HU-26	1022519	856862	674	519	21,2	30,1

Tab. P 1.4. Seznam vrtů použitých pro konstrukci map v oblasti Oháreckého lineamentu

ZPRÁVA	VRT	SOUŘADNICE			Hmax [m]	Tmax [°C]	G [°C/km]
		X	Y	Z			
Krásno	HU-4	1022171	856749	668	513	24,9	30,2
Krásno	HU-30	1021413	856558	634	610	27,1	34,1
Krásno	HU-13	1021556	856718	651	551	25,2	34,7
Krásno	HU-5	1022930	857742	688	538	19,9	26,3
Krásno	HU-33	1023404	858094	683	528	25,6	30,8
Krásno	HU-35	1023560	858211	687	454	18,5	23,1
Krupice	VK-1	1000801	830858	539	78	12,3	22,7
Kynžvart	S-2	1032700	870753	700	59	10,0	23,1
Kynžvart	S-4	1032828	870669	710	35	10,0	33,3
Kynžvart	S-5	1032718	870726	702	55	11,0	54,5
Kyselka	BJ-14	1008886	840191	475	100	14,8	11,8
Kyselka	HV-12A	1008867	840281	356	46	13,3	19,2
Kyselka	HV-21	1009674	841248	373	92	13,8	34,7
Kyselka	HV-9	1008975	840086	377	200	21,8	37,3
Kyselka	HV-7	1009017	840694	352	170	18,0	39,4
Kyselka	HV-57A	1009386	840291	477	54	11,6	39,7
Kyselka	HV-46	1009236	840141	567	178	19,4	41,3
Kyselka	HV-12	1008875	840293	356	95	15,3	41,6
Kyselka	HV-15	1009127	840525	352	135	15,9	42,6
Kyselka	HV-30	1009591	836090	495	63	10,5	44,2
Kyselka	HV-29	1009914	836430	483	55	10,7	44,4
Kyselka	HV-73	1009624	840717	392	250	20,7	46,5
Kyselka	HV-43	1009664	837238	453	78	11,2	50,0
Kyselka	HV-74	1009639	840945	385	240	21,0	50,0
Kyselka	HV-72	1009389	840252	420	250	21,7	50,7
Kyselka	HV-26	1009666	835947	597	100	13,0	54,2
Kyselka	HV-44	1009934	836720	472	100	12,3	54,4
Kyselka	HV-1B	1009900	836650	450	228	22,0	54,7
Kyselka	HV-42	1009557	837661	438	98	14,0	59,9
Kyselka	HV-25	1009791	841448	386	76	13,1	57,1
Kyselka	HV-5	1009052	840656	352	168	18,2	48,0
Kyselka	HJ-1B	1009228	838343	415	220	22,0	60,0
Kyselka	HV-16	1008894	840294	356	180	20,9	60,0
Kyselka	HV-102A	1009336	840241	472	180	22,0	60,1
Kyselka	HV-31	1009201	838347	414	96	14,6	61,0
Kyselka	HV-40	1009233	838084	424	90	12,2	62,0
Kyselka	HV-41	1009437	837775	433	60	12,5	75,0
Kyselka	HV-71	1009392	840369	417	225	19,1	49,3
Kyselka	HV-70A	1009418	840503	383	255	21,8	54,1
Kyselka	HV-70	1009404	840607	353	250	22,6	58,4

Tab. P 1.5. Seznam vrtů použitých pro konstrukci map v oblasti Ohářeckého lineamentu

ZPRÁVA	VRT	SOUŘADNICE			Hmax [m]	Tmax [°C]	G [°C/km]
		X	Y	Z			
Kyselka - Dolní Lomnice	HV-38	1008829	839580	376	95	14,7	43,2
Kyselka - Dolní Lomnice	HV-37	1009014	839068	393	75	12,8	56,7
Kyselka - Lomnice	HV-47	1009407	835656	513	100	12,7	42,5
Kyselka - Lomnice	HV-46	1010089	836201	502	110	12,0	55,0
Kyselka - Lomnice	HV-48	1009895	836915	475	110	13,4	57,8
Kyselka - Lomnice	HV-41A	1009499	837582	448	115	14,3	65,5
Kyselka - Lomnice	HV-48A	1009702	837190	453	120	15,2	68,8
Kyselka - Pastviny	HV-29A	1009978	836581	476	67	9,3	6,7
Kyselka - Pastviny	HV-28A	1009656	836222	493	60	9,4	12,5
Kyselka - Radošov	HV-34	1008594	840674	373	225	22,3	52,0
Kyselka - Radošov	HV-33	1008073	840801	345	155	16,5	40,0
Ledvice	LE-127	981192	782769	206	956	40,9	30,5
Lesní pramen - Mariánské L.	HV-40	1036541	866442	634	100	10,8	32,5
Libkovice	LB-195	982567	786890	248	180	16,4	24,3
Lišany	LI-1	1007075	794925	370	264	13,9	21,6
Litvínov	1M108b	977862	792280	363	65	10,5	38,5
Lochočice	GU-24	978719	767784	272	450	27,8	36,0
Lom Marie - Královské Poříčí	MH5C	1012814	865950	447	77	10,7	46,8
Lomnice	61-PA	1012891	866988	430	153	18,9	64,8
Lomnice	54-PA	1012902	866329	449	184	21,2	77,5
Lomnický potok	HV-45A	1009982	836670	475	92	12,0	41,7
Louka u Mariánských Lázní	HV-5	1027938	858884	711	100	10,2	11,6
Louka u Mariánských Lázní	HV-6	1028004	858850	708	100	11,0	31,9
Louka u Mariánských Lázní	HV-4	1028514	858834	693	80	11,1	33,3
Louka u Mariánských Lázní	BJ-4	1029503	858390	679	80	11,2	34,2
Louka u Mariánských Lázní	HV-3	1028181	858750	700	100	11,1	35,6
Louka u Mariánských Lázní	BJ-3A	1029553	857890	660	100	11,1	37,5
Louka u Mariánských Lázní	BJ-1	1029603	857390	646	100	11,4	38,8
Lukohřany	LK-2	999590	771920	203	166	18,5	35,4
Lužice - Litvínov	1M108b	978072	791923	483	68	10,6	37,8
Mariánské Lázně	BJ-5	1039165	865672	589	107	10,9	24,1
Mariánské lázně	BJ-1FK	1032981	864270	767	90	9,8	28,0
Maštov	MS-8	1010987	819427	357	936	35,7	25,6
Mikulov	MI-4	966342	781115	876	1146	37,2	29,4
Mnichov	HV-32	1029954	859987	674	70	9,1	24,2
Mnichov	HV-31	1029941	859916	673	68	9,7	35,4
Mnichov - HGP	HV-41	1031855	859117	739	98	9,0	11,5
Mnichov u Mariánských Lázní	HV-34	1029982	860221	677	127	12,0	14,5
Mnichov u Mariánských Lázní	HV-9	1029355	858894	662	100	10,3	18,3
Mnichov u Mariánských Lázní	HV-35	1029860	860315	679	81	11,8	22,2

Tab. P 1.6. Seznam vrtů použitých pro konstrukci map v oblasti Oháreckého lineamentu

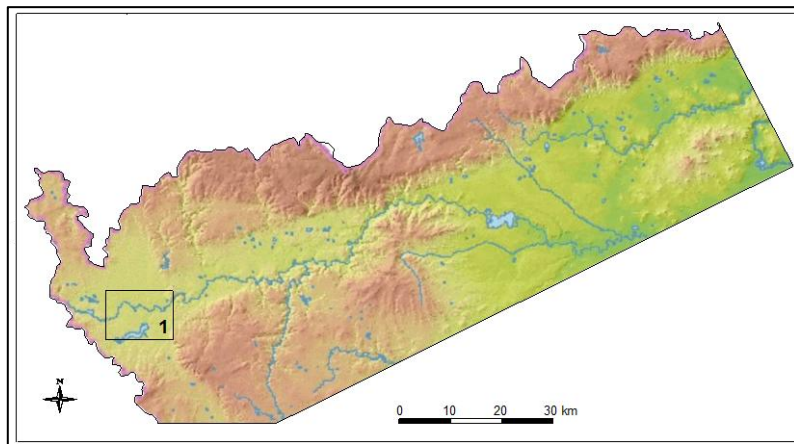
ZPRÁVA	VRT	SOUŘADNICE			Hmax [m]	Tmax [°C]	G [°C/km]
		X	Y	Z			
Mnichov u Mariánských Lázní	HV-7	1028991	858948	679	104	11,0	24,4
Mnichov u Mariánských Lázní	HV-12A	1029912	859665	671	135	11,9	31,3
Mnichov u Mariánských Lázní	HJ-36	1029953	860104	675	134	12,0	33,5
Mnichov u Mariánských Lázní	HV-11A	1031654	860394	698	92	9,6	33,6
Mnichov u Mariánských Lázní	HV-33	1029932	860069	675	120	12,2	39,0
Mnichov u Mariánských Lázní	HV-10	1029441	858940	663	102	10,1	40,2
Mýtina u Chebu	HV-2	1031600	882821	522	70	10,0	28,0
Mýtina u Chebu	HV-1	1031536	882794	519	100	10,8	28,0
Nová Ves	BJ-14	1027545	859241	723	40	8,8	10,0
Nová Ves	HV-23	1027575	859267	724	57	8,9	23,9
Nová Ves	HV-22	1010144	841649	385	100	11,1	31,0
Nové Dvory	DU-3	1001791	754589		160	12,9	5,8
Nový Kostel	NK-17	1008622	881959	459	137	9,5	26,4
Nový Kostel	NK-25	1007254	880361	590	-	-	22,0
Nový Kostel	NK-26A	1007754	880861	577	-	-	45,9
Nový Kostel	NK-32B	1008254	880961	600	-	-	34,6
Nový Kostel	NK-43	1007754	881861	542	-	-	26,4
Nový Kostel	NK-49	1009254	882361	551	-	-	35,0
Odrava	HV-18C	1019521	884610	437	1039	36,7	19,2
Odravská pánev	V7	1023590	882711	442	-	-	48,6
Okrouhlá u Chebu	1H029C	1025073	880613	443	48	13,5	76,3
Oploty	OP-4	1011393	808992	249	723	30,9	21,7
Otovice	2H190	973692	768045	178	132	18,8	53,7
Otovice	1H045b	990064	804656	322	58	13,3	87,5
Parkhotel Golf - Mariánské L.	HV-1	1037052	863168	748	96	7,9	18,4
Petrovský potok	HV-62	1006069	835765	475	110	13,3	42,8
Petrovský potok	HV-59A	1006679	836833	428	115	13,7	43,3
Petrovský potok	HV-63	1005625	835258	496	88	13,4	53,7
Petrovský potok	HV-64	1005630	834924	514	100	14,8	56,3
Petrovský potok	HV-53AP	1006755	837247	416	96	13,9	59,7
Petrovský potok	HV-52A	1005677	835178	498	125	15,6	67,1
Pnětluky	1H081b	1018380	791063	339	56	10,8	33,3
Pochlovice	PO 27HA	1017736	877668	444	-	-	47,3
Pochlovice	PO 30HA	1017836	877768	450	-	-	49,0
Pochlovice	SA 31	1017936	877868	450	-	-	45,2
Pottovo Údolí	BV-6	1039337	865855	572	138	11,2	19,3
Potůčky - Podlesí	PTP-3	987636	852946	864	340	14,5	26,6
Potůčky - Podlesí	PTP-5	987686	852996	860	290	13,2	27,5
Prameny u Mariánských Lázní	HJ-1	1029572	863263	730	97	11,3	31,7
Prameny u Mariánských Lázní	HV-14	1029587	863481	769	80	13,4	25,8

Tab. P 1.7. Seznam vrtů použitých pro konstrukci map v oblasti Oháreckého lineamentu

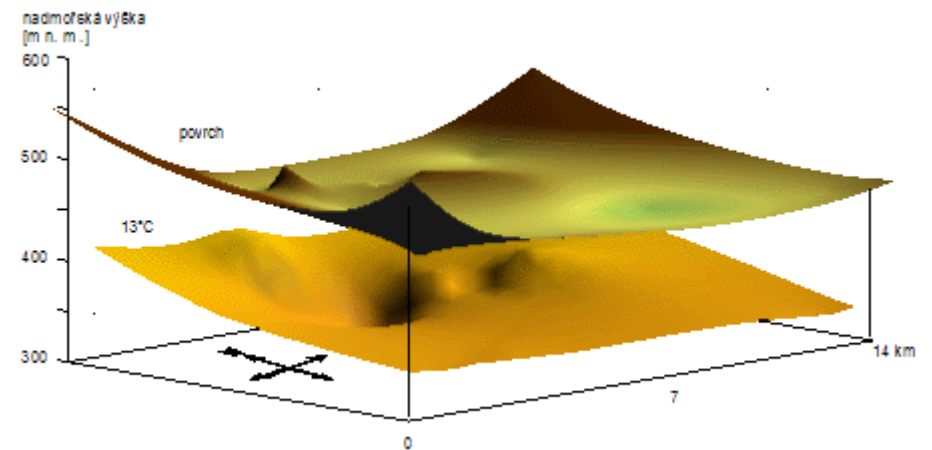
ZPRÁVA	VRT	SOUŘADNICE			H _{max} [m]	T _{max} [°C]	G [°C/km]
		X	Y	Z			
Prameny u Mariánských Lázní	HJ-2	1029636	863810	745	160	13,1	31,4
Prameny u Mariánských Lázní	HV-13	1029637	863531	769	88	12,2	32,4
Prameny u Mariánských Lázní	HV-5	1029713	863611	738	96	12,2	33,9
Prameny u Mariánských Lázní	HJ-3A	1029712	863650	740	100	11,5	36,3
Prameny u Mariánských Lázní	HV-4	1029709	863567	737	100	12,1	38,3
Prameny u Mariánských Lázní	HV-7	1029600	863421	736	95	11,4	41,3
Prameny u Mariánských Lázní	HV-6	1029584	863368	733	99	11,7	47,1
Proboštov	DU-6	972030	777881	341	249	19,5	43,6
Proboštov	PB-6	973140	773880	247	238	26,8	72,0
Radonice	VR-1	1009825	821050	385	98	11,4	15,5
Ruprechtov	HRX-5	1003105	849737	460	71	10,5	27,7
Světce	1H046b	983368	778481	202	88	13,9	56,8
šachta Svornost - Jáchymov	HG-1	996280	844509	264	309	36,6	93,3
Teplice	TP-28	976279	776069	222	900	45,8	28,3
Teplice	TP-28	976279	776069	222	875	44,5	31,3
Teplice	TP-39	976388	776109	222	681	39,0	41,6
Teplice	TH-5	975585	776192	217	100	15,0	53,0
Teplice	TH-15	977486	781350	229	101	21,8	53,4
Teplice	TH-23	972529	780593	350	101	14,4	60,6
Teplice-Řetenice	TH-25	975716	776565	222	133	18,3	40,8
Tisová	HJ-201	1017448	868569	425	27	9,9	28,6
Tušimice	AH-239	998588	813263	241	76	13,8	43,8
Ústřední lázně - Mariánské L.	PJ-39	1037247	865976	626	25	10,0	40,0
Velichov - Petrovský potok	HV-54	1006598	836399	443	130	13,6	35,2
Velichov - Petrovský potok	HV-60	1006799	838260	382	105	12,9	43,5
Velichov - Petrovský potok	HV-59	1006717	836956	423	115	14,0	46,1
Velichov - Petrovský potok	HV-52	1005644	835034	507	100	14,5	54,7
Velichov - Petrovský potok	HV-53	1006179	835766	471	120	15,4	57,9
Velichov - Petrovský potok	HV-60B	1006864	837623	401	88	14,2	75,9
Velichov - Petrovský potok	HV-60A	1006806	838076	387	95	15,5	76,7
Velký Luh - Křižovatka	H-2	1009060	885144	513	0	0,0	30,0
Velký Rybník	VRP11	1003182	848011	447	81	9,3	23,0
Velký Rybník	VRH11	1003318	848231	458	72	14,7	44,3
Vintřov	HV-2	1007150	821725	374	79	12,1	38,7
Výsluní	VV-1	988705	821025	766	73	8,0	14,2
Zlatý Kopec	HU-2	1021568	856605	662	599	25,5	34,8
Zlatý Kopec	ZCA-22	989021	845766	910	617	27,4	35,9
Zlatý Kopec	ZCA-21	988602	846242	889	440	22,8	41,4
Zlovědice	KDV-1	1012941	812604	263	1300	48,7	27,8
Žabokliky	H-5	1006908	807063	257	306	13,3	26,5

P 2.1 - Chebská pánev

Pozice oblasti



Ekvitemplotní řez



Obr. 2.1. Na topografické mapě je vyznačena pozice zájmového území.

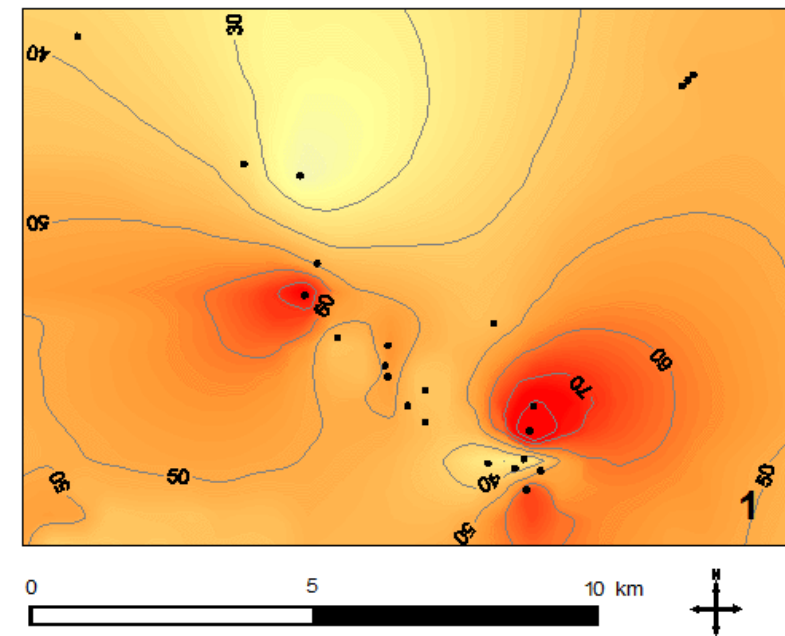
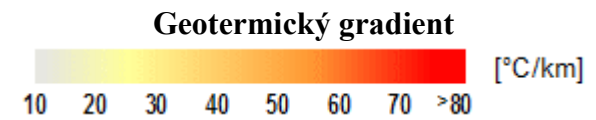
Obr. 2.2. Mapa studované oblasti. Odstíny zelené představují topografický povrch území. Žlutá je plocha reprezentující hloubky, ve kterých je konstantní teplota 13°C.

P 2.1 - Chebská pánev, část 2

Geologie



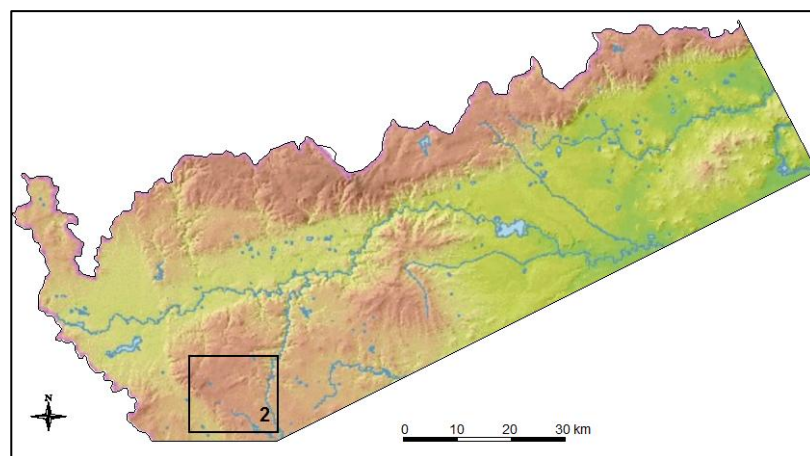
Obr. 2.3. Geologická mapa území s vyznačenými izoliniemi geotermického gradientu, upraveno podle Chába, Stráníka a Eliáše (2007), legenda v příloze P3.



Obr. 2.4. Mapa teplotního gradientu s vyznačenými izoliniemi, černé body představují vrty.

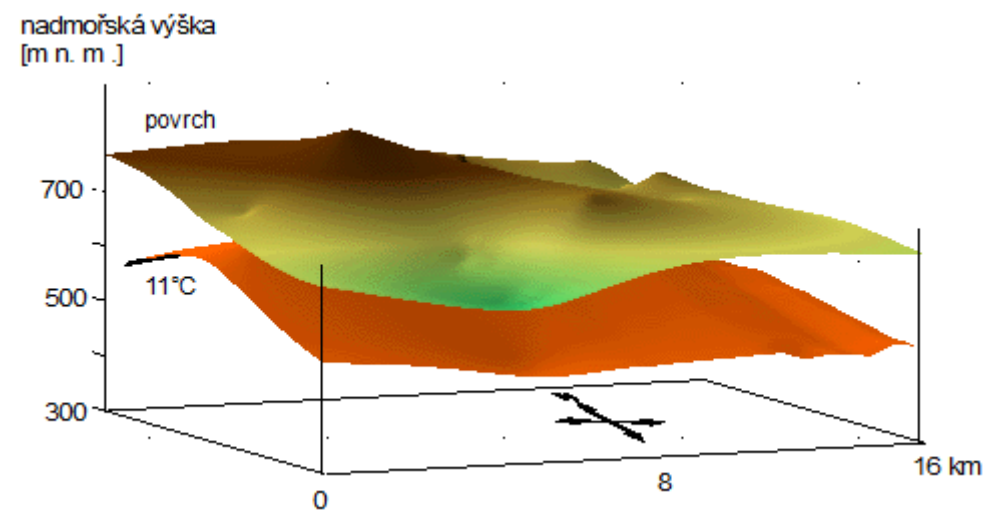
P 2.2 - Mariánské Lázně

Pozice oblasti



Obr. 2.5. Na topografické mapě je vyznačena pozice zájmového území.

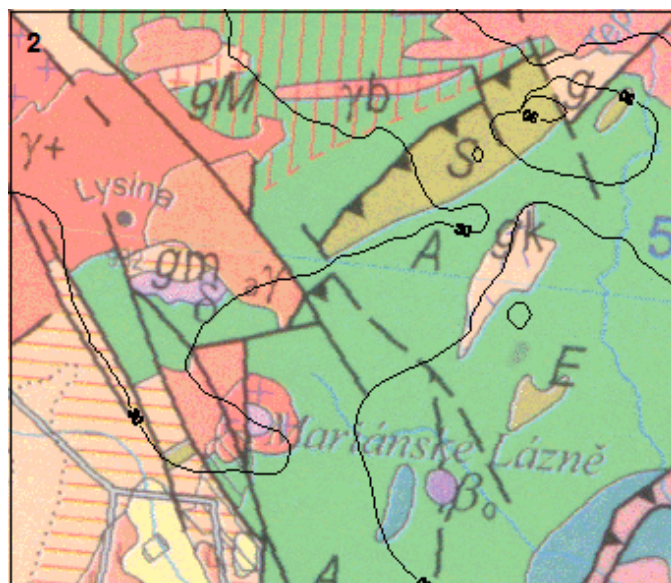
Ekvitemplotní řez



Obr. 2.6. Mapa studované oblasti. Odstíny zelené představují topografický povrch území. Červená je plocha reprezentující hloubky, ve kterých je konstantní teplota 11°C.

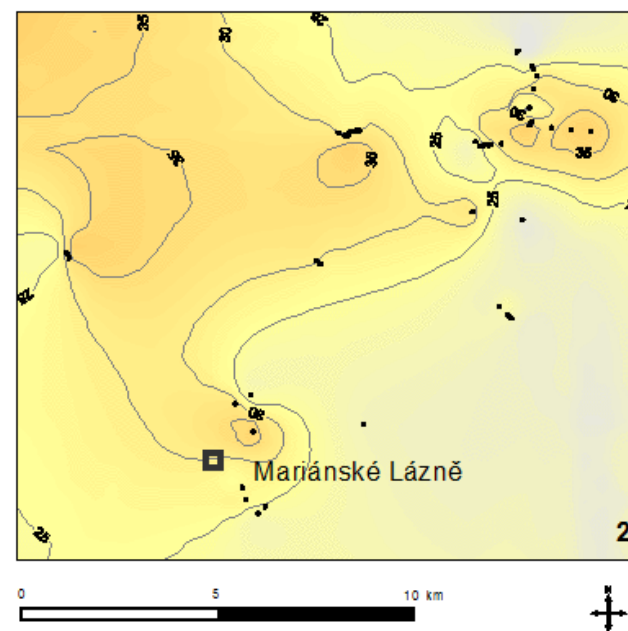
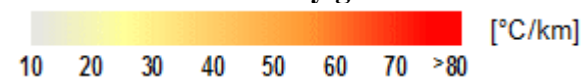
P 2.2 - Mariánské Lázně, část 2

Geologie



Obr. 2.7. Geologická mapa území s vyznačenými izoliniemi geotermického gradientu, upraveno podle Chába, Stráníka a Eliáše (2007), legenda v příloze P3.

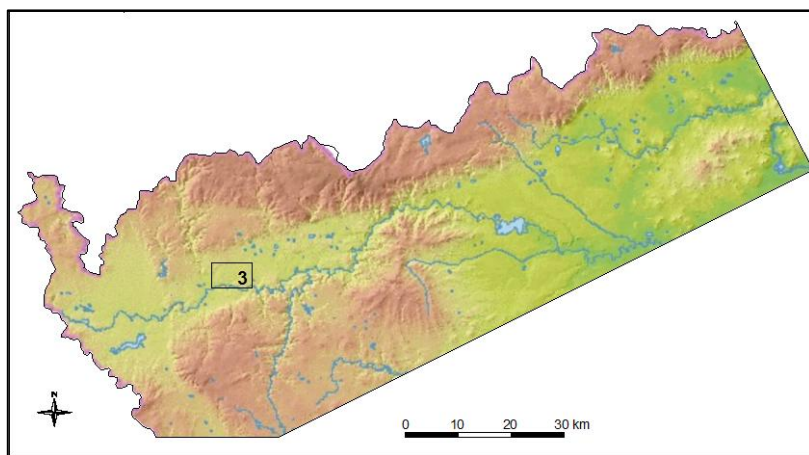
Geotermický gradient



Obr. 2.8. Mapa teplotního gradientu s vyznačenými izoliniemi, černé body představují vrty.

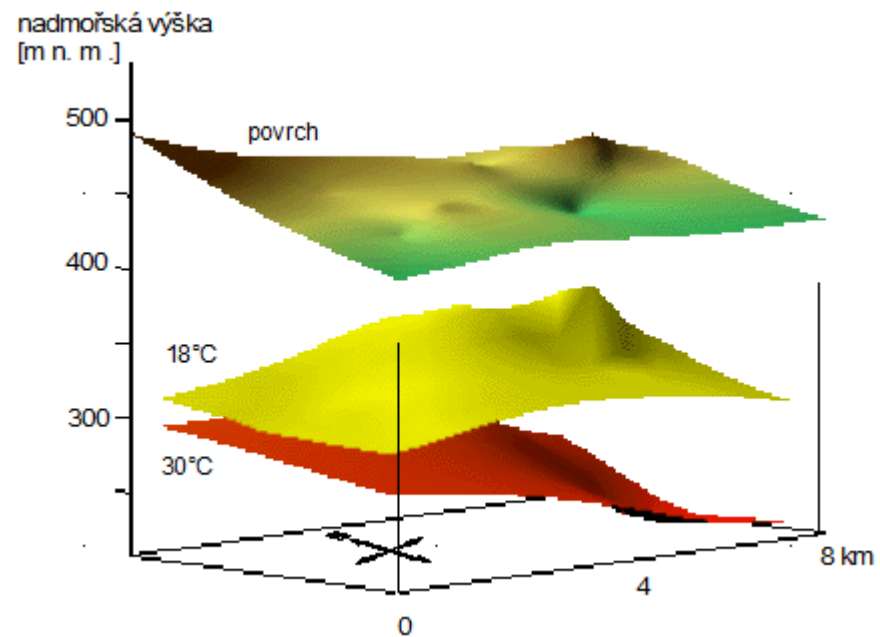
P 2.3 - Sokolovská pánev

Pozice oblasti



Obr. 2.9. Na topografické mapě je vyznačena pozice zájmového území.

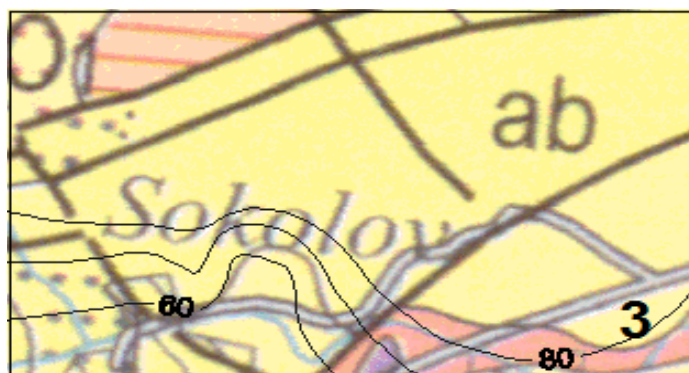
Ekvitemplotní řez



Obr. 2.10. Mapa studované oblasti. Odstíny zelené představují topografický povrch území. Žlutá je plocha reprezentující hloubky, ve kterých je konstantní teplota 18°C, červená odpovídá 30°C.

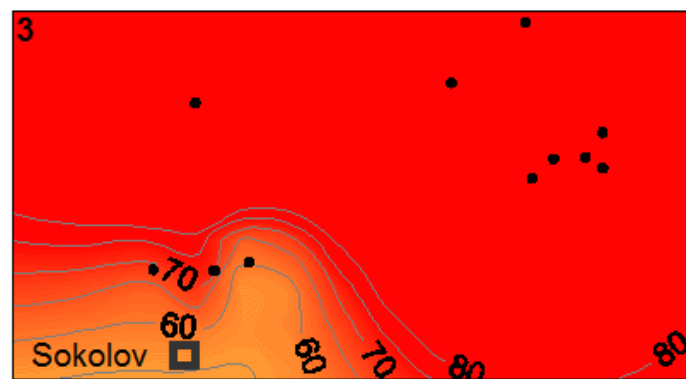
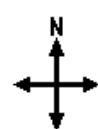
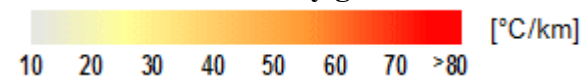
P 2.3 - Sokolovská pánev, část 2

Geologie



Obr. 2.11. Geologická mapa území s vyznačenými izoliniemi geotermického gradientu, upraveno podle Chába, Stráníka a Eliáše (2007), legenda v příloze P3.

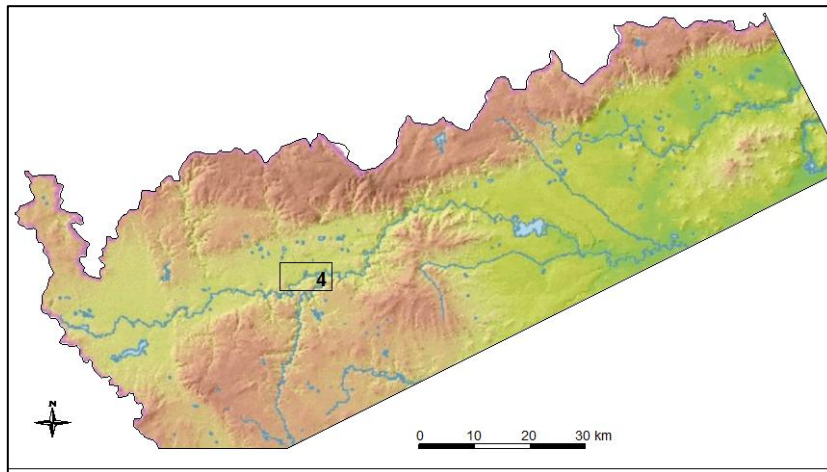
Geotermický gradient



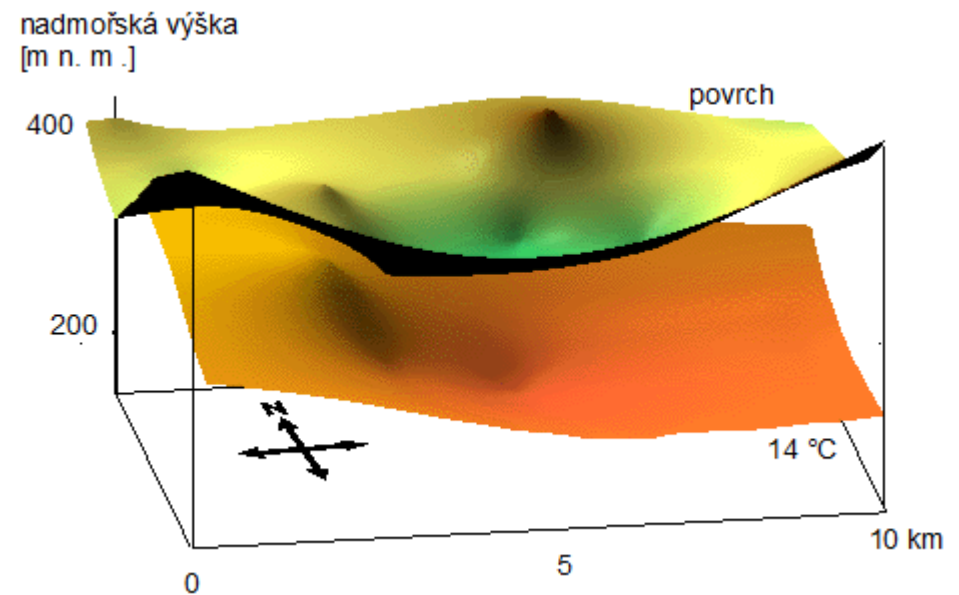
Obr. 2.12. Mapa teplotního gradientu s vyznačenými izoliniemi, černé body představují vrty.

P 2.4 - Karlovy Vary

Pozice oblasti



Ekvitemplotní řez

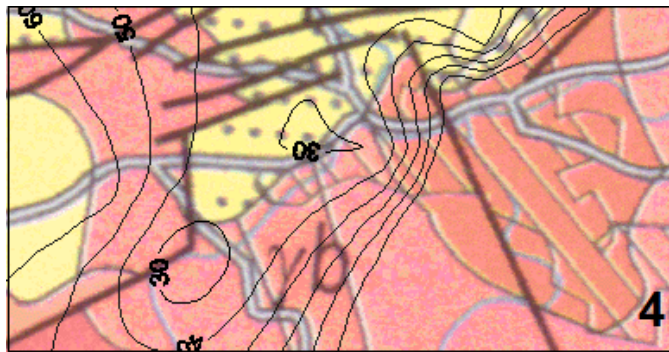


Obr. 2.13. Na topografické mapě je vyznačena pozice zájmového území.

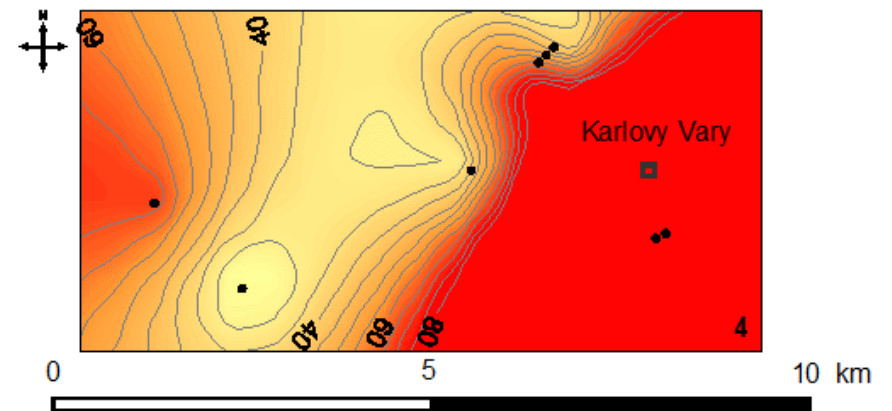
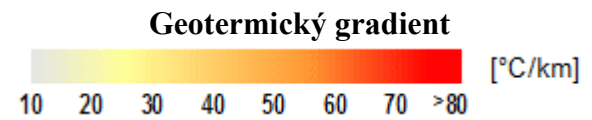
Obr. 2.14. Mapa studované oblasti. Odstíny zelené představují topografický povrch území. Žlutá je plocha reprezentující hloubky, ve kterých je konstantní teplota 14°C.

P 2.4 - Karlovy Vary, část 2

Geologie



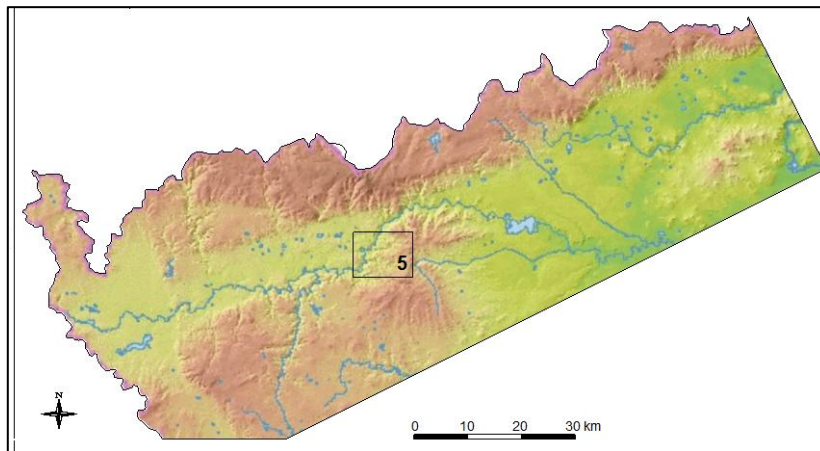
Obr. 2.15. Geologická mapa území s vyznačenými izoliniemi geotermického gradientu, upraveno podle Chába, Stráníka a Eliáše (2007), legenda v příloze P3.



Obr. 2.16. Mapa teplotního gradientu s vyznačenými izoliniemi, černé body představují vrty.

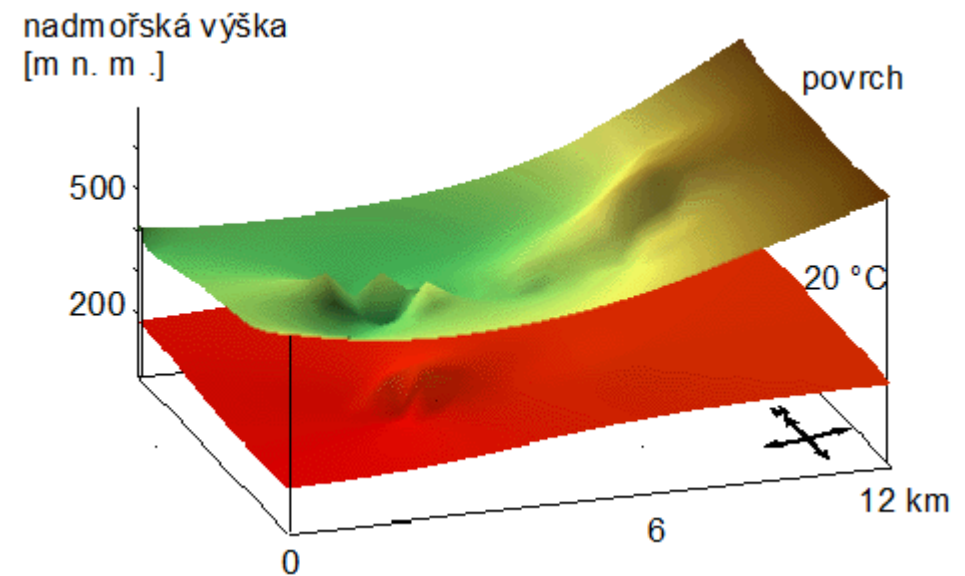
P 2.5 - Doupovské Hory

Pozice oblasti



Obr. 2.17. Na topografické mapě je vyznačena pozice zájmového území.

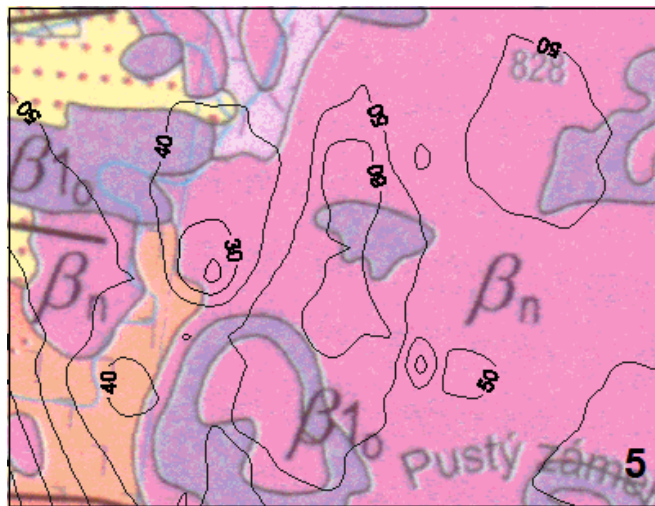
Ekvitemplotní řez



Obr. 2.18. Mapa studované oblasti. Odstíny zelené představují topografický povrch území. Červená je plocha reprezentující hloubky, ve kterých je konstantní teplota 20°C.

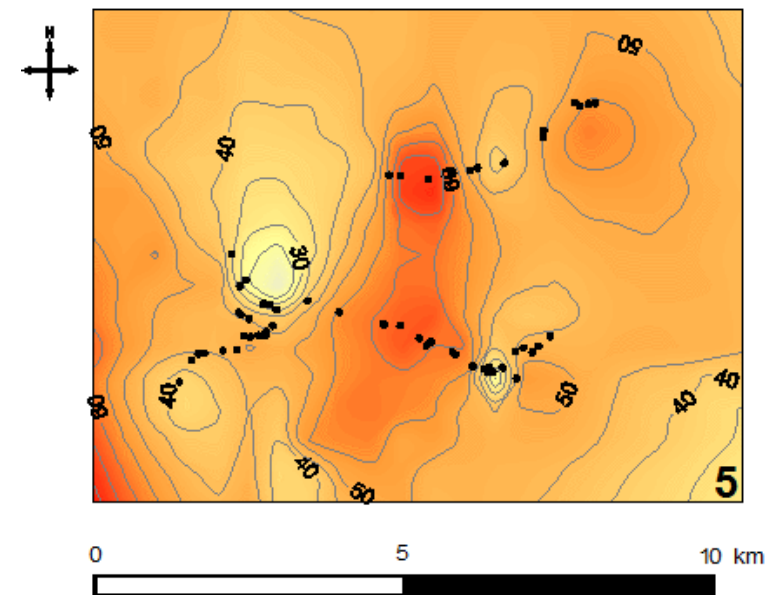
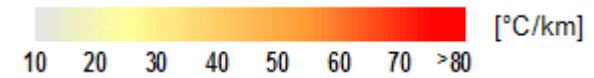
P 2.5 - Doupovské Hory, část 2

Geologie



Obr. 2.19. Geologická mapa území s vyznačenými izoliniemi geotermického gradientu, upraveno podle Chába, Stráníka a Eliáše (2007), legenda v příloze P3.

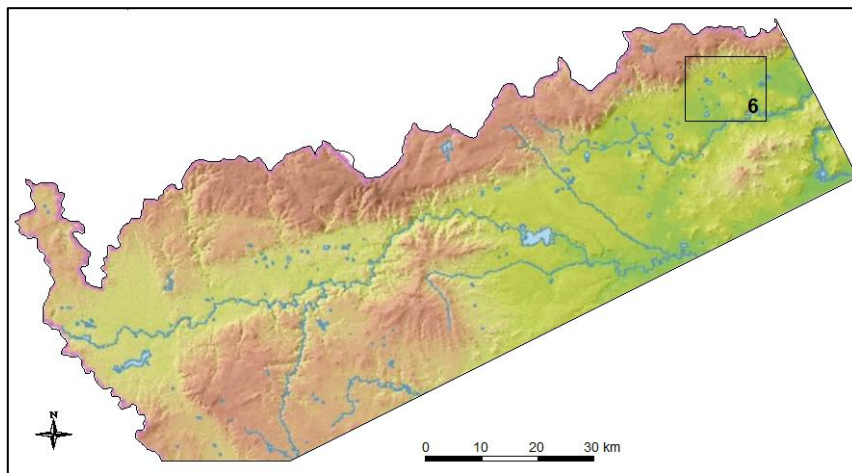
Geotermický gradient



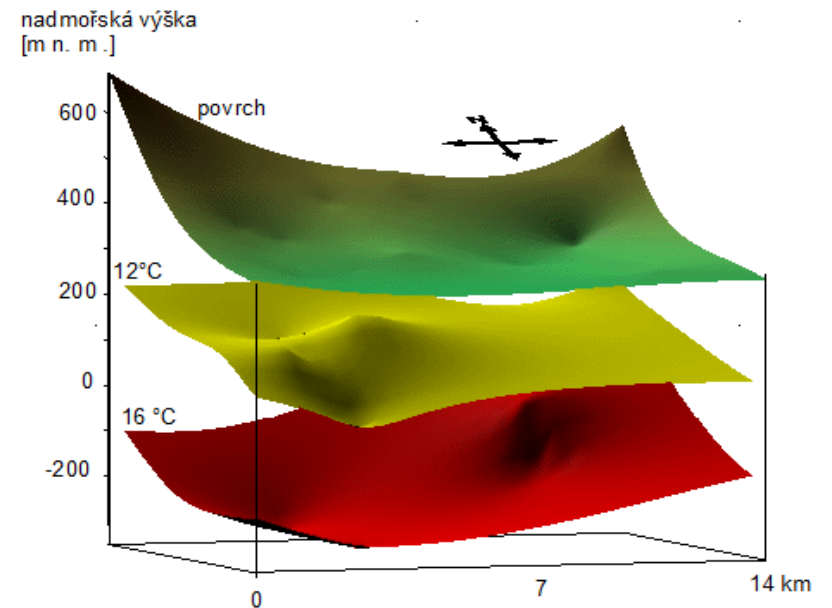
Obr. 2.20. Mapa teplotního gradientu s vyznačenými izoliniemi, černé body představují vrty.

P 2.6 - Teplice

Pozice oblasti



Ekvitemplotní řez

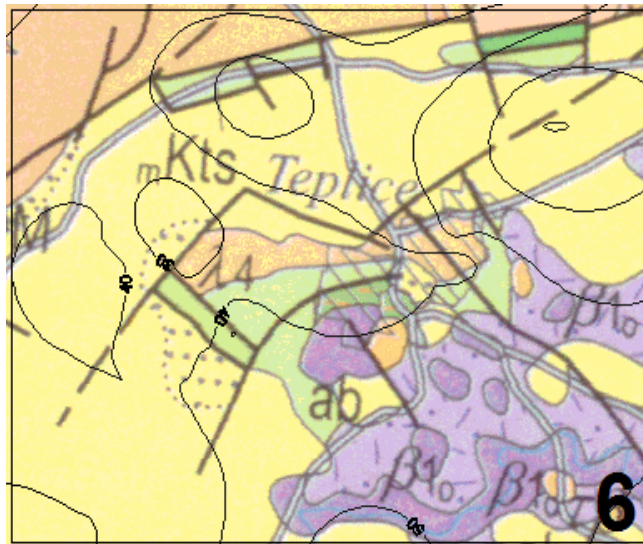


Obr. 2.21. Na topografické mapě je vyznačena pozice zájmového území.

Obr. 2.22. Mapa studované oblasti. Odstíny zelené představují topografický povrch území. Žlutá je plocha reprezentující hloubky, ve kterých je konstantní teplota 12°C, červená představuje 16°C.

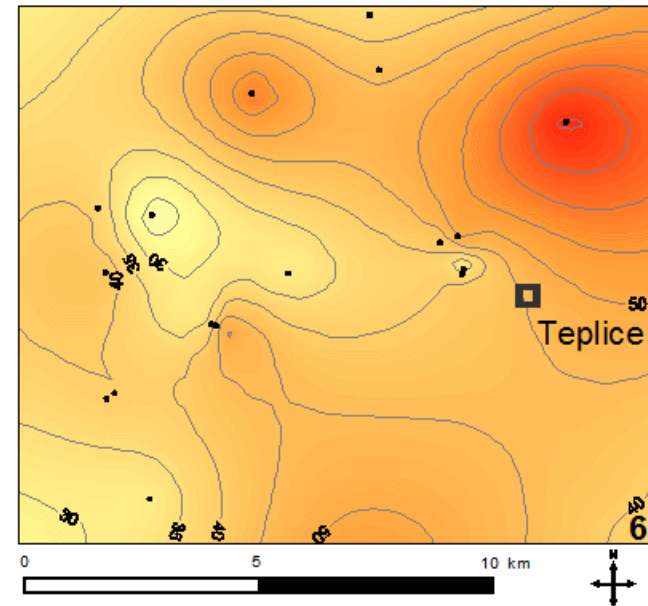
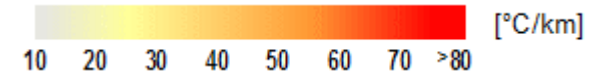
P 2.6 - Teplice, část 2

Geologie



Obr. 2.23. Geologická mapa území s vyznačenými izoliniemi geotermického gradientu, upraveno podle Chába, Stráníka a Eliáše (2007), legenda v příloze P3.

Geotermický gradient



Obr. 2.24. Mapa teplotního gradientu s vyznačenými izoliniemi, černé body představují vrty.

P3 – Legenda ke geologické mapě

upraveno podle Chába, Stráníka a Eliáše (2007)

Legenda

KENOZOIKUM

Terestrický terciér Českého masivu a Karpat



PI PLIOCÉN: písky, štěrky, jíly

Terciér Českého masivu

VULKANITY ČESKÉHO MASIVU



$\tau\beta / \upsilon$ leukokratní trachybazalty, trachyandezity, trachyty, nerozlišené trachytické vulkanity, intruzivní trachytické brekcie – $\tau\beta$ / fonolity – υ



β_n / β_{2n} alkalické bazalty, tefrity, foidity, augity, melanokratní trachybazalty, essexity, nerozlišené – β_n / v Českém středohoří většinou mladší subaerické výlevy – β_{2n}



β_o / β_{1o} olivinické alkalické bazalty a bazanity, olivinické foidity, limburgity, melilitické olivinické horniny, subvulkanické bazaltické brekcie, alterované olivinické bazaltové horniny: solitérní intruze a efuze bez určení stáří – β_o / předpliocenní výlevy a intruze oherského riftu, převážně subakvatické výlevy v Českém středohoří – β_{1o} / plio-pleistocenní subaerické efuze – β_{3o}



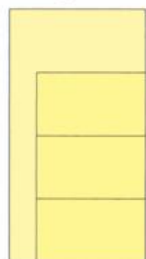
$^{\circ}\beta / ^{\circ}\beta_2$ vulkanoklastika bazaltových hornin: převážně pyroklastika in situ i redeponovaná – $^{\circ}\beta$ / převážně redeponovaná pyroklastika mladších bazaltových hornin v Českém středohoří – $^{\circ}\beta_2$



$^{\circ}\beta_3 / ^{\circ}\beta_1$ vulkanoklastika olivinických bazaltových hornin: plio-pleistocenní pyroklastika, převážně havajského typu, in situ – $^{\circ}\beta_3$ / převážně redeponovaná autoklastika, méně epiklastika a pyroklastika provázející v Českém středohoří starší výlevy – $^{\circ}\beta_1$

TERESTRICKÝ TERCIÉR ČESKÉHO MASIVU (PŘEVÁŽNĚ PŘEDPLIOCENNÍ)

Neogén



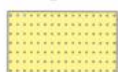
N NEOGÉN (nerozlišený): písky, štěrky, jíly

M MIOCÉN (nerozlišený): písky, štěrky, jíly, podřadně lignitové sloje

ks karpat–sarmat: jíly, podřadně diatomity, štěrky a lignitové sloje

ab aquitan–baden: písky, štěrky, jíly, podřadně uhelné sloje

Paleogén – neogén



OM SVRCHNÍ OLIGOCÉN – SPODNÍ MIOCÉN: písky, štěrky, jíly, podřadně uhelné sloje

MEZOZOIKUM

Mezozoikum Českého masivu (převážně marinní)

Křída

	Ks / Ks'	santon: terestrické pískovce, jílovce, slepence; klikovské souvrství — Ks santon: pískovce s vložkami prachovců a jílovců; merboltické souvrství — Ks'
	sKcs / mKc	coniac—santon; březenské souvrství: pískovce křemenné, méně jílovito-prachovité — sKcs / vápnité jílovce a slínovce s písčitymi vložkami — mKc
	Kcc	coniac—?campan: terestrické jílovitopísčité sedimenty s valouny, jíly, jílovce, písky, pískovce
	Ktc / Kc	turon—coniac: slínovce, pískovce; souvrství Velkých Rakovic, svrchní část — Ktc coniac: pískovce, jílovce — Kc
	sKts / mKts	svrchní turon—santon; březenské a teplické souvrství: křemenné pískovce, jemnozrné jílovité pískovce až prachovce — sKts / vápnité jílovce a slínovce — mKts
	sKt / csKt	střední—svrchní turon; jizerské souvrství: křemenné a arkózovité pískovce, dílem jílovité nebo vápnité — sKt / vápnité a jílovité jemnozrné pískovce — csKt
	ciKt / mKt	spodní—svrchní turon (bělohorské a jizerské souvrství): vápnité jílovce, slínovce, méně jílovité vápence — ciKt / křemenné pískovce — mKt
	mKt / Kt	turon: glaukonitické, vápnité a jílovité pískovce, slínovce, místy silicifikované (až spongolity), s polohami rohovců — mKt / pískovce, jílovce, slínovce; bavorská křída, souvrství Velkých Rakovic, střední část — Kt
	Kcet	cenoman—turon: pískovce, slínovce, vápence, převážně marinní; opolský vývoj, souvrství Velkých Rakovic, spodní část
	Kce	cenoman: terestrické sladkovodní až marinní jílovce, prachovce, pískovce, slepence; perucko-korycanské souvrství
	Ka	alb: terestrické pískovce, jílovce; rudické vrstvy

Jura

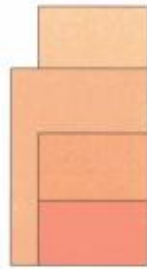
	J23	DOGGER—MALM: vápence, dolomity, ojediněle pískovce
	J2 / J1	DOGGER: jílovce, pískovce, vápence — J2 / LIAS: pískovce, jílovce, slínovce — J1

Trias

	T3 / T2	SVRCHNÍ TRIAS: jílovce, místy bitumenní, pískovce a dolomity, místy vložky sádrovce — T3 / STŘEDNÍ TRIAS: jílovce, slínovce, vápence, pískovce — T2
	T1	SPODNÍ—STŘEDNÍ TRIAS: terestrické a marinní jílovce, pískovce, slepence, dolomity

Paleozoikum Českého masivu

Perm



- P2 SVRCHNÍ PERM, thuring (zechstein): sladkovodní a marinní jílovce, pískovce, slepence, dolomity
- P1 SPODNÍ PERM (nedělený): terestrické rudé kalovce, pískovce, arkózy
- Ps saxon: terestrické rudé kalovce, pískovce, arkózy, slepence
- Pa autun (± SVRCHNÍ KARBON, stephan C): terestrické rudé i šedé kalovce, pískovce, arkózy, slepence, uhelné sloje

Karbon synorogenních a postorogenních pánví, převážně terestrický







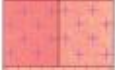
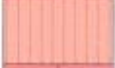
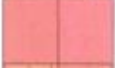
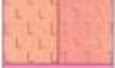



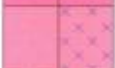
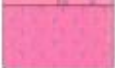
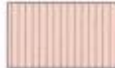

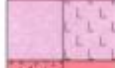
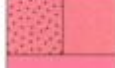




- Cs / Cws stephan B: rudé a šedé kalovce, pískovce, arkózy, slepence, uhelné sloje — Cs / westphal + kantabr + barruel: rudé i šedé kalovce, pískovce, arkózy, slepence, uhelné sloje — Cws
- Cw2 / Cw1 bolsov + westphal D: šedé i rudé kalovce, pískovce, arkózy, slepence, uhelné sloje — Cw2 / langsett—bolsov: šedé i rudé kalovce, pískovce, arkózy, slepence, uhelné sloje — Cw1
- Cn3b / Cn23 svrchní namur—bolsov: převážně šedé kalovce, pískovce, arkózy, slepence, uhelné sloje — Cn3b / střední — svrchní namur: převážně šedé kalovce, pískovce, slepence, uhelné sloje — Cn23
- 1Cn1 / pCn1 spodní namur: šedé kalovce, pískovce, arkózy, droby, uhelné sloje; vývoje: terestrický — 1Cn1 / paralický — pCn1
- 11Cv3 / 15Cv3 svrchní visé: šedé kalovce, pískovce, slepence, uhelné sloje v saxothuringiku — 11Cv3 / terestrické, výše marinní břidlice, droby, slepence ve vnitrosudetské pánvi — 15Cv3
- 16Cv2 / 16Cv1 ?střední visé: slepence, droby, méně břidlice — 16Cv2 spodní visé: slepence, brekcie, droby, méně břidlice — 16Cv1
- 16Ct ?svrchní tourmai: slepence, brekcie, droby

Karbon předhlubně (karbonský flyš — kulm)



- Cvn visé—?namur: břidlice, droby, slepence
- 1Cvn / 9Cvn svrchní visé—spodní namur: břidlice, podřízeně droby (rytmické a laminované střídání) — 1Cvn / převážně droby, podřízeně břidlice — 9Cvn
- 1Cv3 / 9Cv3 svrchní visé—?spodní namur: převážně laminované břidlice — 1Cv3 / droby, často masivní, podřízeně břidlice — 9Cv3
- 1Cv3 / 9Cv3 svrchní visé: převážně laminované břidlice — 1Cv3 / droby, podřízeně břidlice, slepence — 9Cv3
- 1Cv3 svrchní visé—?spodní namur: slepence
- Cv3 svrchní visé: mělkovodní marinní slepence, pískovce, vápence, břidlice
- Cv12 ?tourmai—spodní až střední visé: pískovce, slepence

VARISKÁ INTRUZIVA

	π	žilné granitoidní a tonalitické horniny
	$a\gamma / \gamma+$	alkalickoživcové a muskovitické granity, leukogranity — $a\gamma$ / granity bohaté stopovými prvky a turmalinické variety — $\gamma+$
	γc	peraluminické cordieritické granity až tonality
	$\gamma / c\gamma$	dvojslídne granity (muskovit > biotit, muskovit < biotit), jemně (až středně) zrnité — γ / hrubě (až středně) zrnité — $c\gamma$
	$po\gamma / po_c\gamma$	porfyrické dvojslídne granity (muskovit > biotit, muskovit < biotit), jemně (až středně) zrnité — $po\gamma$ / hrubě (až středně) zrnité — $po_c\gamma$
	$M\gamma$	nebulitické až oftalmitické migmatity až nehomogenní biotitické nebo dvojslídne granity, místy s vyrostlicemi
	$\gamma b / c\gamma b$	biotitické granity, jemně (až středně) zrnité — γb / hrubě (až středně) zrnité — $c\gamma b$
	$po\gamma b / po_c\gamma b$	porfyrické biotitické granity, jemně (až středně) zrnité — $po\gamma b$ / hrubě (až středně) zrnité — $po_c\gamma b$
	$po\gamma h$	amfibol-biotitické granity
	$\gamma' / po\gamma'$	biotitické a dvojslídne granity až granodiority vnitřních Karpat — γ' / porfyrické, dílem s plošně (\pm lineárně) paralelní stavbou — $po\gamma'$
	$\gamma\delta / c\gamma\delta$	biotitické a amfibol-biotitické monzogranity až granodiority a trondhjemity, jemně—středně zrnité — $\gamma\delta$ / hrubě—středně zrnité — $c\gamma\delta$
	$\gamma\delta h / po\gamma\delta h$	amfibol-biotitické a biotit-amfibolické granodiority — $\gamma\delta h$ / porfyrické— $po\gamma\delta h$
	$\gamma\delta h'$	amfibol-biotitické granodiority, porfyrické, s plošně \pm lineárně paralelní stavbou
	γ	metagranitoidy, sporadicky metagabroidy, nerozlišené („pality“)
	ξ	amfibol-biotitické syenity
	$\xi p / po\xi p$	pyroxen-biotitické syenity (durbachity), melanokratní — ξp / porfyrické melanokratní — $po\xi p$
	$\xi\gamma / po\xi\gamma$	amfibol-biotitické syenogranity (durbachity), melanokratní — $\xi\gamma$ / porfyrické melanokratní — $po\xi\gamma$
	$\xi\delta$	monzonity, křemenné monzonity
	$\delta\gamma$	biotit-amfibolické, amfibol-biotitické a amfibolické (\pm biotit) tonality a křemenné diority
	$\delta\gamma' / M\delta\gamma$	ve vnitřních Karpatech biotitické tonality až granodiority — $\delta\gamma'$ / místy hybridní, s přechody do migmatitů — $M\delta\gamma$
	δ / v	diority — δ / gabra — v

GEOLOGICKÉ SYMBOLY

	hranice útvarů a hornin známé
	hranice útvarů a hornin předpokládané
	litologické a petrografické přechody
	zlom známý
	zlom předpokládaný
	přesmyk známý
	přesmyk předpokládaný
	hlavní násunový (příkrovový) zlom známý, hlavní násunová (smyková) zóna známá
	hlavní násunový (příkrovový) zlom předpokládaný
	vedlejší násunový (příkrovový) zlom známý
	vedlejší násunový (příkrovový) zlom předpokládaný
	smyková—zlomová zóna s významnou mylonitizací a kataklázou a četnými křemennými žilami
	smyková zóna neurčitého ohraničení se silnou mylonitizací

111