



**LOKALITA KAŇK – SYNTÉZA GEOFYZIKÁLNÍCH A GEOCHEMICKÝCH DAT PRO  
STUDIUM ZNEČIŠTĚNÍ TĚŽKÝMI KOVY**

**THE KAŇK SITE – SYNTHESIS OF GEOPHYSICAL AND GEOCHEMICAL DATA FOR  
STUDYING HEAVY METALS CONTAMINATION**

*Jaroslav Jirků<sup>1</sup>, Jaroslav Bárta<sup>2</sup>*

**Abstrakt**

Lokalita Kaňk u Kutné hory je známá dlouhodobým negativním vlivem středověké těžby stříbra na životní prostředí a zdraví obyvatel. Těžební odpady a jejich sekundární produkty (především arsen) zde dlouhodobě způsobují kontaminaci jak povrchových, tak především podzemních vod a významné koncentrace těžkých kovů byly měřeny i v půdě a vzduchu (zvýšené koncentrace arsenu byly zjištěny i v zahrádkářských koloniích v ovoci, např. v jahodách). V rámci řešení projektu „KUTNÁ HORA - KAŇK Analýza rizik znečištění pocházejícího z těžebních odpadů v lokalitě Kaňk“ společnosti Green Gas DPB byla zkoumána geologická stavba Kaňku a okolí s hlavním cílem definovat možné preferenční cesty kontaminovaných vod a přispět ke zpřesnění hydrogeologického modelu lokality. V rámci měření byla do geofyzikální metodiky zařazena i metoda rentgen-fluorescenční analýzy XRF, díky které se podařilo získat informace o plošných koncentracích vybraných těžkých kovů v půdním horizontu.

**Abstract**

The Kaňk site by the city of Kutna Hora is well known because of the negative medieval silver prospection's influence on the environment and inhabitants' health. The prospection waste and its secondary products (namely arsenic) cause here contamination of the surface and especially the ground water in the long-term. Significant concentrations were traced in the soil and air as well (higher arsenic concentrations were traced in nearby garden colonies in the fruits as well, namely in strawberries). Within the "KUTNA HORA – KAŇK The risk analysis of the contamination based on the prospection waste at the Kaňk site" project of the Green Gas DPB company the Kank geological settings were investigated aiming to the recognition of the preferential pathways for contaminated groundwater and nailing down

the hydrogeological site's model. Within the geophysical methodology the XRF method was incorporated as well – it helped in getting information on the spatial concentrations of the heavy metals in the soil horizon.

### **Klíčová slova**

*ERT, DEMP, VDV, XRF, kontaminace, arsen, Kaňk*

### **Keywords**

*ERT, DEMP, VLF, XRF, contamination, arsenic, Kaňk*

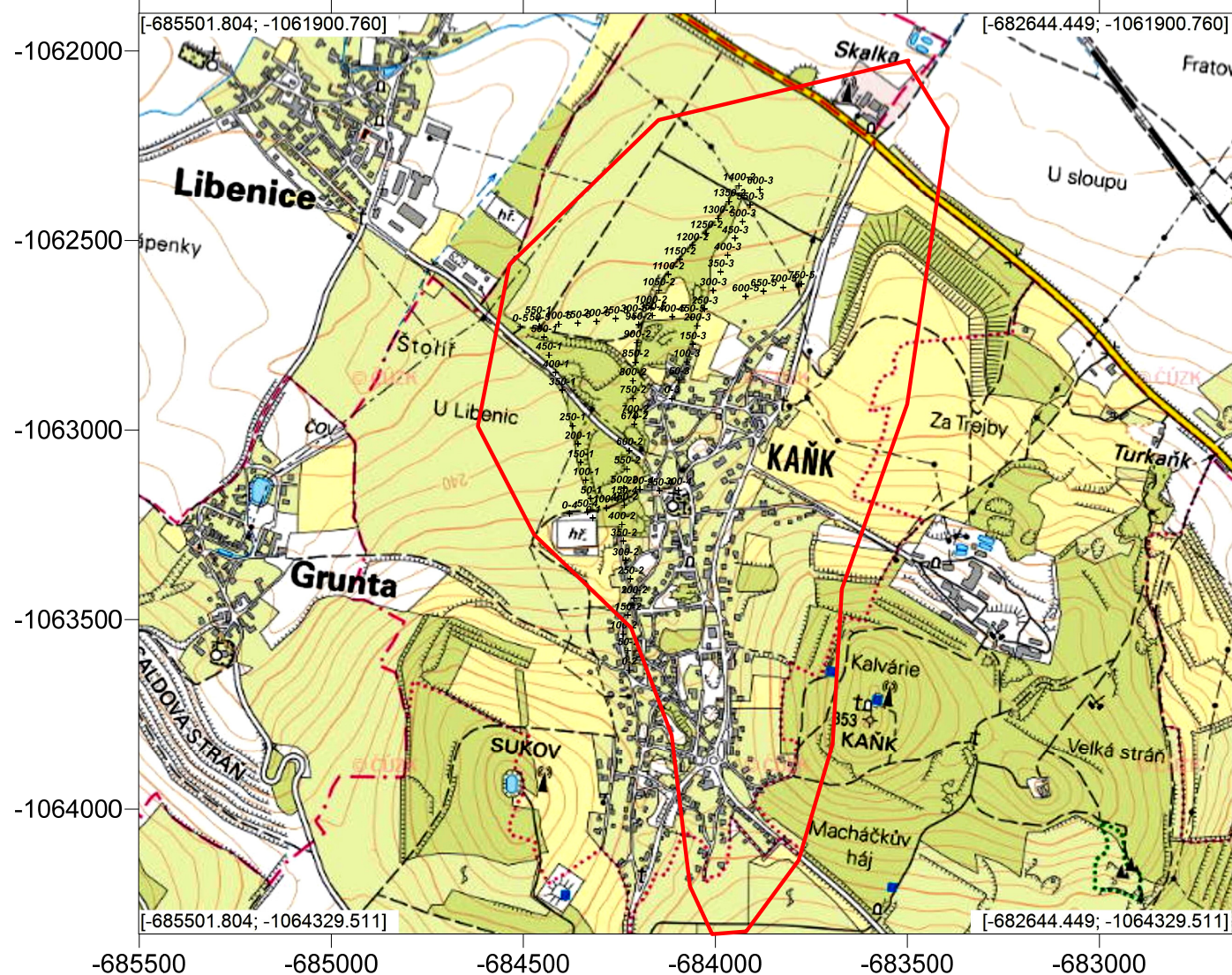
## **1 Úvod, geologická a hydrogeologická stavba území**

Odvaly na Kaňku jsou pozůstatky historické hornické činnosti a mají význam jako přírodní památky, jejich existence se však dlouhodobě projevila i ovlivněním složek životního prostředí, zejména zvýšenými obsahy arzenu (As) a některých dalších kovů a metaloidů, které byly průzkumnými pracemi zjištěny zejména v půdách a zeminách a v podzemní vodě prakticky v celé oblasti Kaňku (problematika kontaminace arsenem v oblasti např. v Pertoldová et al., 2000). Zvýšený obsah arzenu v tomto území pochází z rudních minerálů, ponejvíce pyritu a arzenopyritu, které byly společně s hlušinou ukládány na odvalech a jejichž zvětráváním vznikaly sekundární minerály (zejm. sírany a arzeničnany). K mobilitě arsenu přispívá velká akumulace kyseliny sírové v podzemí, která vzniká rozkladem přítomných sulfidů, konkrétně z dolu Kaňk jsou známy kolejnice poškozené kapáním důlní vody, která sezónně dosahovala chemismu několikaprocentní kyseliny sírové, lze říci, že důlní vody v určitých oblastech dolu Kaňky byla kyselina sírová. Vzhledem k tomu, že po ukončení těžby došlo k částečnému zatopení lomu, byl změněn i režim podzemních vod (více např. v Zemanovi, 2011). Zvýšené obsahy arzenu v oblasti městské části Kaňk proto mohou představovat riziko jak pro složky životního prostředí (půda, voda, ovzduší, biota apod.), tak pro lidské zdraví. Riziko je zvýrazněno zejména tím, že předmětné odvaly jsou umístěny převážně v obytné a smíšeně obytné zóně městské části Kaňk, a to v bezprostředním sousedství obytné zástavby. Některé nemovitosti jsou umístěny přímo na částech odvalů, povrch některých odvalů či jejich částí je často využíván jako zahrady pro pěstování plodin či plochy pro rekreaci a relaxaci, u většiny odvalů je však jejich povrch z větší části zalesněn. V poslední době bohužel dochází u některých odvalů k narušování svahů výkopy sběratelů minerálů, což zvyšuje riziko šíření škodlivin. V minulosti byly rovněž některé odvaly rozvezeny a materiál použit k terénním úpravám, ke stejnému účelu byl materiál nezdědkou použit i majiteli sousedících nemovitostí. Jednotlivé odvaly byly posuzovány z hlediska hodnocení rizik opuštěných úložných míst těžebních odpadů v letech 2011–2012. Na prakticky všech odvalech na Kaňku byl proveden komplexní průzkum, který byl zaměřen na stanovení obsahů škodlivin v materiálu odvalů a v zeminách a půdách v jejich okolí a dále na vyhodnocení míry ovlivnění kvality podzemních vod v okolí odvalů. Z výsledků pak byla vyhodnocena míra rizika pro jednotlivé cílové subjekty a stanoveny expoziční scénáře pro jednotlivé odvaly. Doposud však nebyla realizována komplexní syntéza poznatků a zpracována analýza rizika pro celou oblast Staročeského pásma na území městské části Kaňku.

Součástí navazujících prací byl krom jiného i komplexní geofyzikální průzkum zájmového území (společně se základní profilovou geofyzikální sítí na obr. 1 doplněný navíc o metodu XRF. Cílem průzkumu bylo komplexně zhodnotit litologickou stavbu území na vybraných geofyzikálních profilech a dále pomocí metody XRF plošně zhodnotit koncentrace těžkých kovů v půdní vrstvě několik centimetrů pod povrchem. Finálním výstupem by pak měl být inovovaný hydrogeologický model lokality s návrhem umístění sítě nových monitorovacích vrtů a sond.

## 1.1 Geologická stavba území

Kutnohorský revír (Holub, 1975) je budován dvěma krystalinickými sériemi (skupinami), malínskou (tzv. nadložní) a šternbersko - čáslavskou (tzv. podložní). V malínské skupině převládají dvojslídne až biotitické ruly, migmatity a migmatizované ruly. Šternbersko-čáslavskou skupinu tvoří svorové ruly, svory a ortoruly s pestrými vložkami (amfibolity, erlany, serpentinity apod.). Obě skupiny jsou intenzivně zvrásněny a metamorfovány v subfacii disten- almandinové. Malínská skupina tvoří celou severní část revíru, tedy i většinu zájmového území. Svrchní partie rul mohou být v některých místech kaolinizovány. Horniny krystalinika jsou porušeny četnými dislokacemi většinou S–J až SSV–JJZ směru s velmi strmým sklonem. Na tyto tektonicky predisponované zóny jsou pak vázány rudonosné struktury většinou křemen-karbonátové žíly a žilníky. Mladší sedimentární pokryv tvoří horniny svrchní křída, terciéru a kvartéru.



**Obr. 1** Vymezení zájmového území Kaňk (červená čára) a průběhy základních geofyzikálních profilů

Sedimentární pokryv je vyvinut především ve východní a severovýchodní části revíru. Křídové sedimenty představují hlavně vápnité pískovce, písčité vápence a glaukonitické pískovce cenomanu. Na svazích Kaňku je na bázi křídvy vyvinuta tzv. příbojová facie, tvořená hrubými slepenci a lumachelovými vápenci spodního turonu bělohorského souvrství. Mladší sedimenty turonu představují vápnité jílovce, slínovce a písčité slínovce. Mocnost křídových uloženin cenomanu je v maximech 25 m, turonu 30 m. Terciální terasové štěrky a písky o mocnosti max. 8 m jsou vyvinuty na plošinách při východním a jihovýchodním okraji revíru. Kvartérní sedimenty reprezentují zejména spraše a sprašové hlíny, deluviální hlíny a terasové štěrky a další fluviální sedimenty v okolí vodních toků.

V oblasti se typicky vyskytují supergenní minerály arzenu, které vznikly vysrážením povrchových vod mělkého oběhu protékajících kutnohorskými haldami, například bukovskýit, kaňkit, zýkait nebo paraskorodit (více v Králová et Kremla, 2000).

## 1.2 Hydrogeologické poměry území

Podloží kvartérních i křídových sedimentů tvoří metamorfované horniny kutnohorského krystalinika. Na horniny krystalinika je vázán jednak mělký a relativně rychlý oběh podzemní vody v zóně přípovrchového rozvolnění, jednak hluboký oběh vázaný na zóny tektonického porušení hlubšího dosahu. Zvodnění mělkého oběhu je vázáno na málo mocné slaběji průlinově propustné eluvium hornin, charakteru písčitých až prachovitých jílu nebo jílovitých písků, a na puklinově propustnou zónu v dosahu zvětrávacích procesů. Hydrogeologické poměry v zájmovém území i jeho okolí jsou ovlivněny hornickou činností. Hladina podzemní vody byla v různé míře plošně snižována od středověku až do roku 1990, kdy byla ukončena těžba na dole Turkaňk. Charakter proudění podzemní vody v horninovém masivu je ovlivněn rozfáráním ložiska. Otevřené štoly, chodby a jiná otevřená důlní díla vytváří preferenční cesty pro proudění podzemní vody. V zavalených nebo založených důlních dílech je podzemní voda naopak zadržována a vznikají statické zásoby podzemní vody se specifickým chemismem. Po ukončení těžby došlo od roku 1991 k postupnému vyplňování existující depresní kotliny a nástupu hladiny podzemní vody. Po nástupu hladiny do úrovně 1,2 m nad I. patro jámy Turkaňk začala silně mineralizovaná, silně kyselá důlní voda pronikat přes puklinový systém do dědičné štoly Čtrnácti pomocníků a vytékat na povrch terénu a následně do koryta Beránky (Máchovská, 2006). V roce 2001 bylo obnoveno čerpání důlních vod a hladina je udržována pod úrovní I. patra, v úrovni cca 206 m n. m., aby nedocházelo k výtoku kyselých důlních vod na povrch. V zájmovém území je místy vyvinuta mělká zvedeň vázaná na kvartérní sedimenty (spraše, prachovité hlíny) a zónu přípovrchového rozvolnění hornin krystalinika. Zvedeň je dotována především infiltrací ze srážek a drénována korytem bezejmenné vodoteče. Spád hladiny podzemní vody je v generelu k SZ, konformně se spádem terénu. K doplňování zvodně dochází celoročně, v závislosti na okamžitých srážkových poměrech. Maximální rozdíly hladiny podzemní vody mělké zvodně v průběhu roku dosahují 1 m, viz (Máchovská, 2006).

Tělesa odvalů se uplatňují jako prostředí infiltrace srážkových vod. Vzhledem k nehomogenitě těžebního odpadu a přítomnosti poloh přemístěných hlín vznikají v tělese odvalů nad spojitou hladinou mělké zvodně dílčí plošně a kapacitně omezené zvodnělé obzory, s převládajícími statickými zásobami a s omezenou hydraulickou spojitostí s okolím.



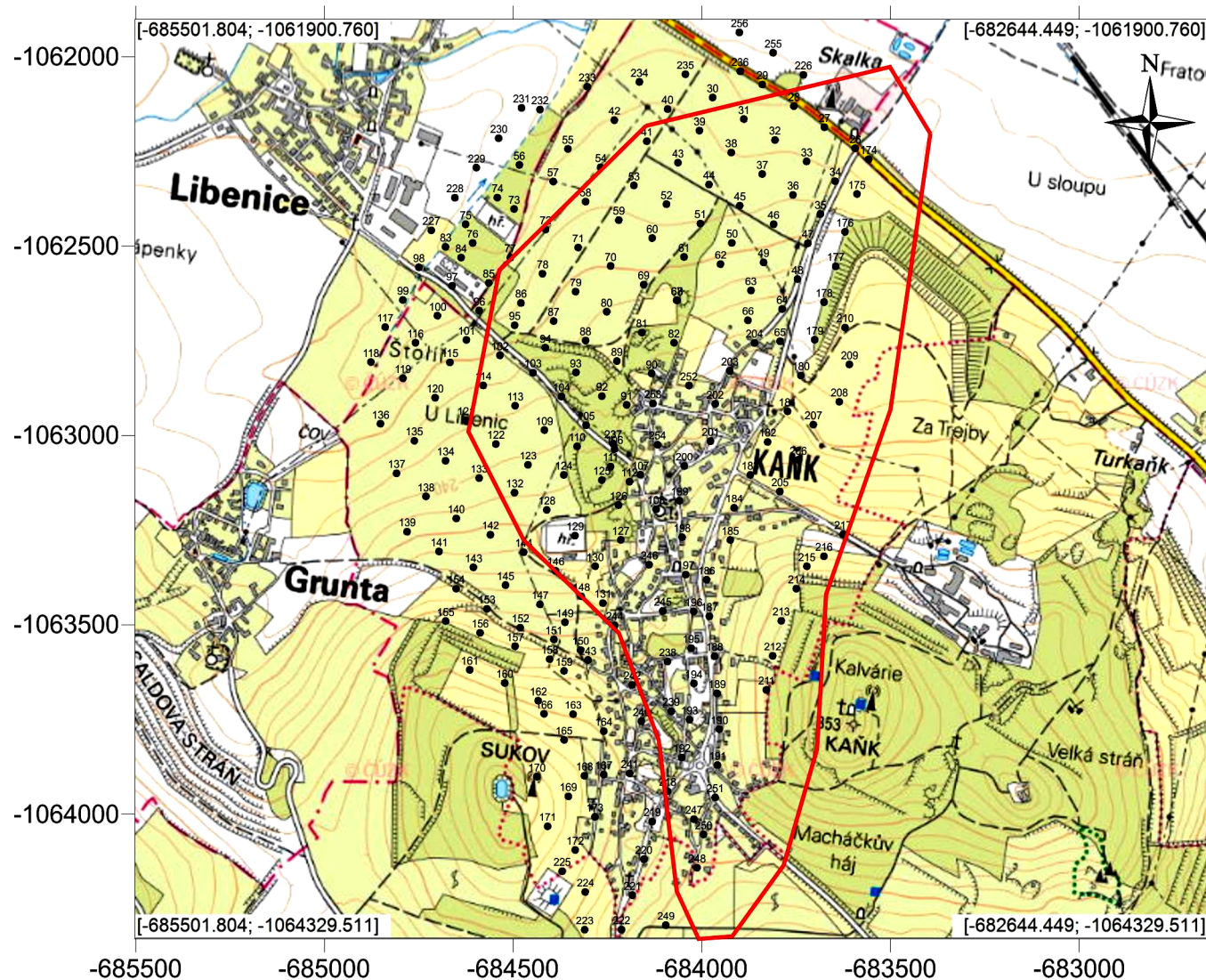
## 2 Metodologie terénních prací

Měření metodou XRF probíhalo v pravidelné 2D síti po téměř celém zájmovém území, viz obr. 2. K účelu povrchových geofyzikálních metod (ERT, DEMP a VDV) bylo vytyčeno pět základních geofyzikálních profilů (jejich umístění vycházelo ze zadávací dokumentace), obr. 1, na kterých proběhlo měření metodami ERT a DEMP. Profily metody VDV byly z důvodu silného rušení elektromagnetického signálu v zástavbě intravilánu umístěny do vlastní sítě většinou západně a SZ od MČ Kaňk.

### 2.1 Měření XRF analyzátozem

Vzorky zemin z lokality Kutná Hora – Kaňk byly měřeny ručním ED-XRF spektrometrem DELTA PROFESSIONAL za použití Delta stativu pro měření malých vzorků. Každý vzorek byl před měřením dán do plastové nádoby a překryt polypropylenovou fólií určenou výrobcem pro měření se spektrometry DELTA. Vzorky byly měřeny v módu Geochem, který měří ve dvou fázích. Fáze 1 umožňuje analýzu lehkých prvků, sekvenčně následující Fáze 2 analýzu těžších prvků. Doba měření byla nastavena na 180 vteřin pro každou fázi. Naměřená data byla zpracována a exportována ve formě tabulky Microsoft Excel pomocí InnovX Delta PC software. Celkem bylo odebráno 231 vzorků z humidní vrstvy několik centimetrů pod povrchem. Umístění měřených bodů je znázorněno na obr. 2. Rozložení bodů vycházelo z požadavku na pravidelnost měřičské sítě a omezením vstupu na soukromé pozemky a jiná nepřístupná místa. Terénní metodice měření touto metodou se věnuje např. (Hall et al., 2014).

Výsledné hodnoty jsou uvedeny v koncentracích v ppm. Citlivostní limit měření,



Obr. 2 Zobrazení terénních bodů měřičské sítě XRF

tedy nejmenší detekovatelná hodnota v půdě, je 1 ppm. Interpretovány tedy jsou pouze prvky, u kterých byly zjištěny koncentrace vyšší, než je tato hodnota. Jednalo se o arsen, baryum, cín, chrom, kadmium, měď, nikl, olovo, vanad a zinek.

## 2.2 Povrchové geofyzikální práce

Metoda ERT využívá roztahu mnoha elektrod v profilových liniích k získání 2D obrazu zdánlivých měrných odporů zkoumaného geologického prostředí. Výsledné řezy jsou dále geologicky interpretovatelné a mohou přinášet komplexní informace jak o horizontálních, tak o vertikálních strukturách. Zdánlivý měrný odpor citlivě reaguje na mnoho geologických fenoménů, především na petrografický typ horniny, přítomnost tektonického porušení, nasycení podzemní vodou aj. Měření proběhlo v celé délce vytyčených geofyzikálních profilů.

Morfologie terénu byla zadána dle modelu reliéfu ČÚZK páté generace. Krok elektrod byl vždy 5 metrů, maximální rozteč proudových elektrod byla omezena na 315 metrů, neboli lze očekávat maximální hloubku měření přibližně v pětině této hodnoty, tedy zhruba 60 metrech. Bylo použito uspořádání Wenner – Schlumberger. Délka proudového pulzu byla 300 ms. Měření bylo řízeno aparaturou ARES II výrobce GF Instruments připojenou k aktivním multielektrodovým sekcím.

Originální naměřená data byla po zanesení výškopisu zpracována pomocí programu Res2Dinv do podoby invertovaných odporových řezů zdánlivých měrných odporů. Na základě změřených měrných odporů rozlišujeme několik odporových domén – zónu nejnižších odporů (do cca 35  $\Omega\text{m}$ ) pravděpodobně odpovídající kvartérním nebo antropogenním sedimentům, zónu zvýšených odporů (do cca 700  $\Omega\text{m}$ ), kterou přisuzujeme křídovým sedimentům a dále zóny s odpory mezi 700 až zhruba 16 000  $\Omega\text{m}$ , které přisuzujeme horninám krystalinika s různým stupněm zvětrání, přičemž platí, že zvětrané horniny mají nižší odpory z důvodu vznikajících jílových minerálů, elektricky vodivých.

Metoda DEMP patří k aktivním elektromagnetickým metodám využívající střídavé elektromagnetické pole. Toto pole dokáže při interakci s geologickým prostředím detekovat jak vodivé geologické linie, tak plošně mapovat materiál o různém měrném odporu. Jelikož se jedná o rychlou pochozí metodu, měla by tato přinést informace především o rozsahu materiálu samotných hald v ploše s maximální hloubkou informace do přibližně 5–7 metrů. Měření proběhlo spojitě na všech profilech společně s měřením polohy pomocí GPS.

Měření proběhlo pomocí přístroje GEM-2 výrobce Geophex. Tento přístroj je vybaven párem vysílací a přijímací cívky, která dokáže vysílat a přijímat signál na čtyřech budících frekvencích – 6525, 13025, 27025 a 47025 Hz. Obecně platí, že se zvyšující se frekvencí se snižuje hloubkový dosah měření, zvyšuje jeho rozlišení a naopak. Výsledky jsou znázorněny v hodnotách frekvenčně závislé elektrické vodivosti.

Námi používaný přístroj primárně neměří přímo hodnotu měrné vodivosti, tak, jak by správně měla být konduktivně měřena dle Ohmova zákona, ale jedná se o induktivní měření hodnot, které jsou dále na základě firemní kalibrace přepočteny na měrné vodivosti v milisiemensích na metr. Přístroj měří se vzorkovací frekvencí několika bodů za vteřinu a každý měřený bod je definován geografickou pozicí dle připojené GPS.



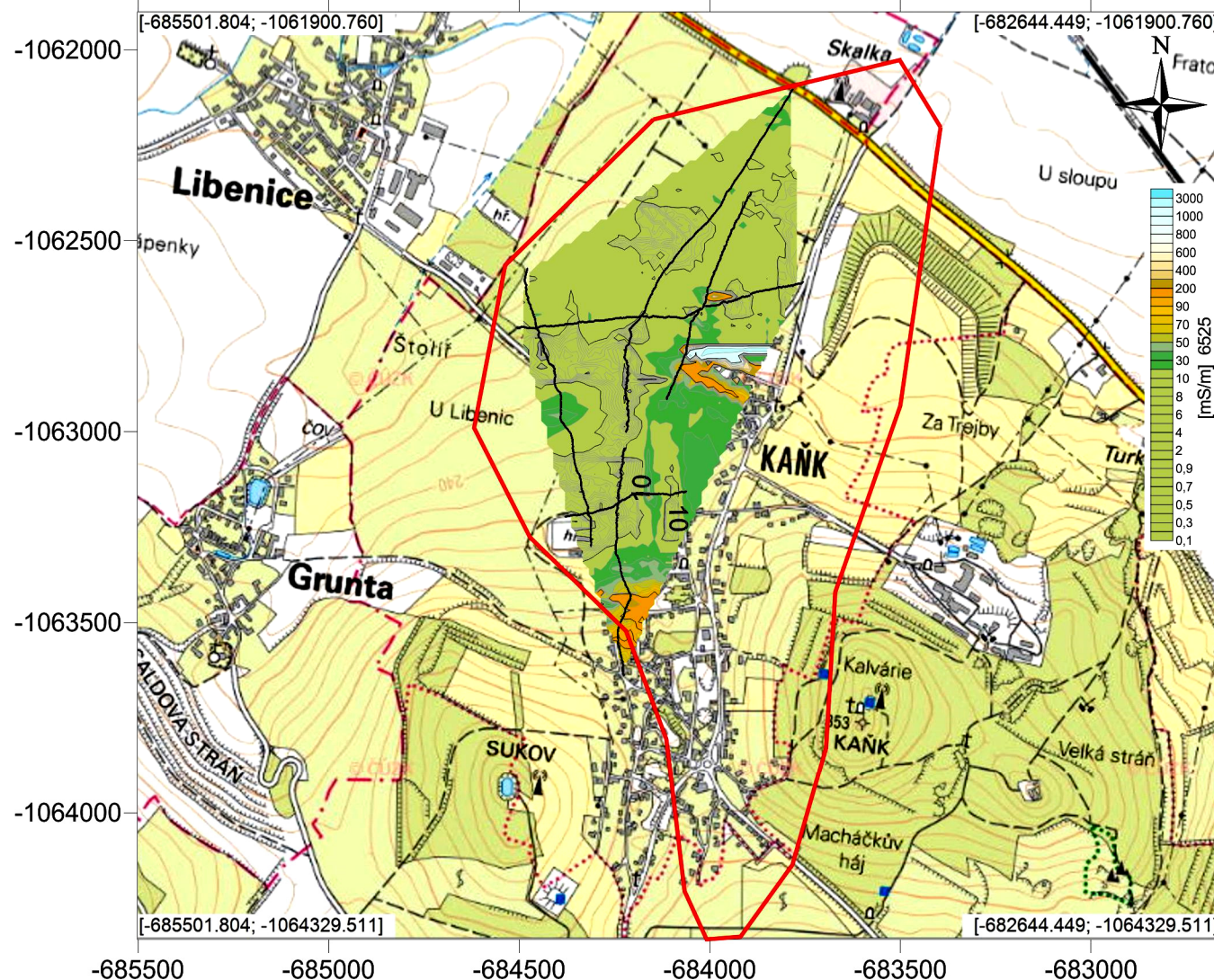
Metoda VDV využívá pasivní vojenské dlouhovlnné stanice, jejichž elektromagnetický signál je měřitelný po celém světě a při interakci s vodivými (např. tektonickými) poruchami vytváří charakteristické sekundární pole, které jsme schopni měřit. Metoda je tak vhodná k určování přítomnosti vertikálních a kvazi vertikálních geologických struktur, jako jsou např. zlomy apod.

Měření probíhalo pomocí přístroje WADI výrobce ABEM. Přístroj dokáže vyhodnocovat všechny aktuálně vysílané dlouhovlnné stanice a na základě směru vysílání vybrat k měření tu nejvíce vhodnou. Obecně platí, že směr vysílání stanice by měl být zhruba paralelní s protažením tektonických poruch a směr profilů kolmý na tento směr. Měří se reálná a imaginární složka elektromagnetického pole a křivky těchto složek se následně vyhodnocují dle charakteristických projevů – typicky lze očekávat maximální gradient hodnot nad vodivou poruchou.

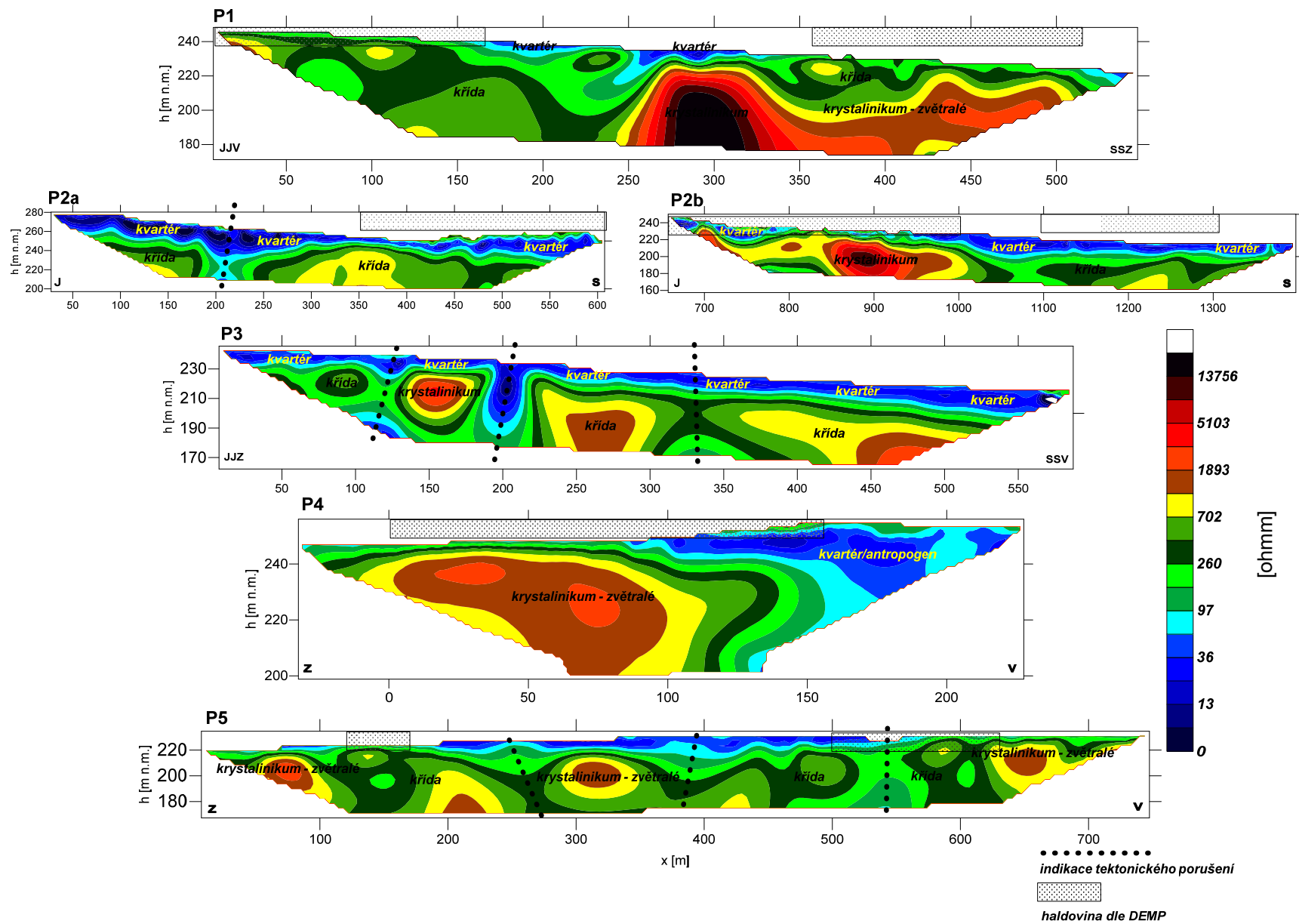
### 3 Výsledky a závěry

Měření metodou VDV zastihlo tektonické indikace především severozápadně od Kaňku a na základě vzájemné korelace bylo lokalizováno několik poruchových pásem typického základního S–J směru. Dále bylo předáno k vrtnému ověření několik indikací Z–V tektoniky, která by mohla sloužit jako dominantní vodič kontaminovaných podzemních vod ve směru na Libenici.

Z výsledků metody DEMP vybíráme nejnižší budící frekvenci 6525 Hz, obr. 3. U této frekvence lze očekávat nejvyšší relativní hloubkový dosah v řádu cca 4–5 metrů. Zobrazená 2D mapa frekvenčně závislé měrné vodivosti je částečně postižena dokrigováním hodnot i do míst bez měřených dat. Znovu upozorňujeme, že nosnou hodnotu mají pouze oblasti v těsné blízkosti naměřených profilů.



Obr. 3 Výsledky metody DEMP na frekvenci 6525 Hz



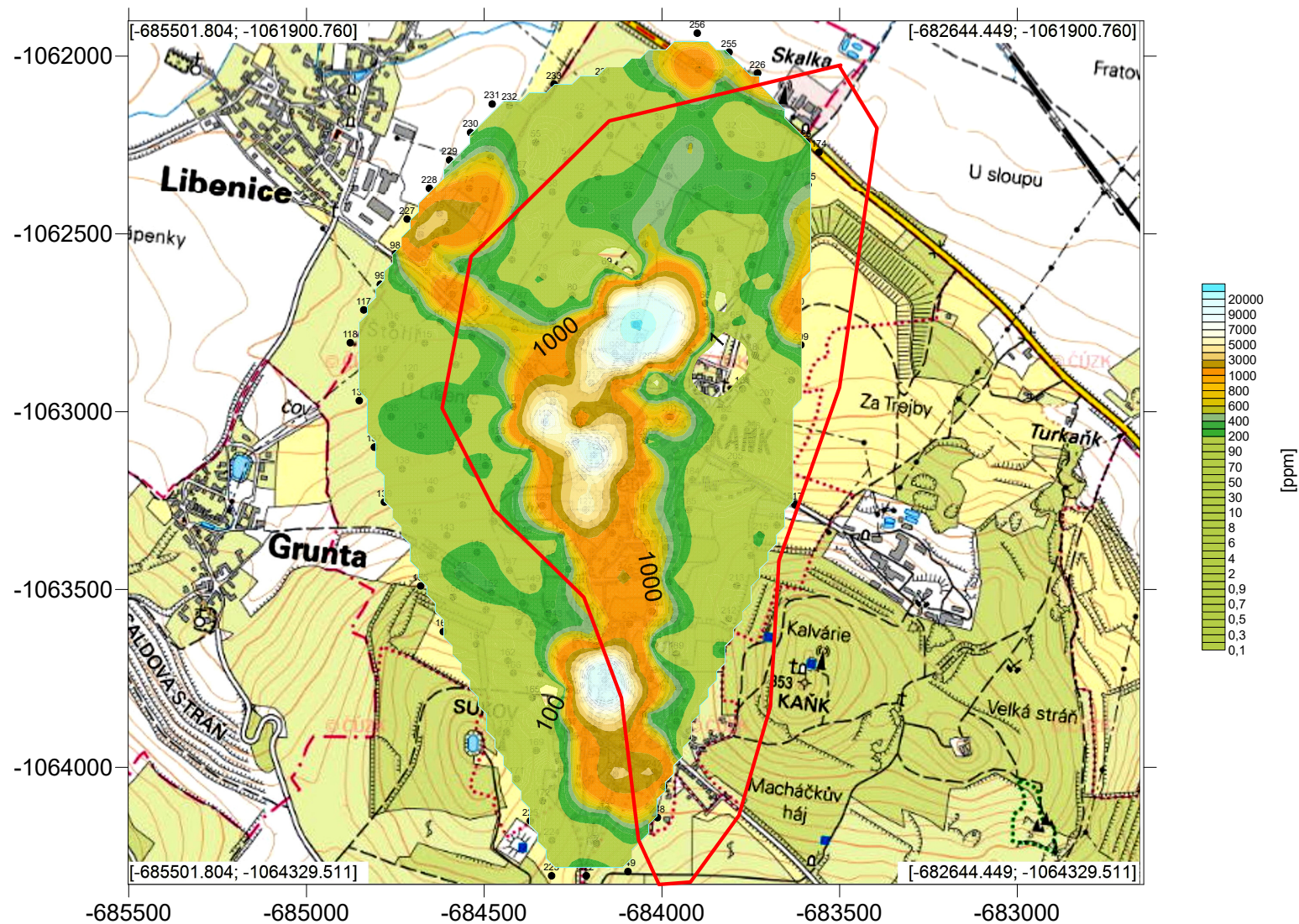
**Obr. 4** Výsledky metody ERT se základními geologickými indikacemi



Severně od Kaňku můžeme vidět zřetelný vliv nějakého druhu umělého vodiče (potrubí, nadzemní vedení apod.) ve formě extrémně vysoké elektrické vodivosti. Dle našeho názoru lze v hodnotách mezi 0 – 10 mS/m (vyznačené hraniční izolinií) zhruba lokalizovat antropogenní haldový materiál, který může mít zvýšené koncentrace těžkých kovů. Tento výsledek je důležitý vzhledem k tomu, že ne vždy jsou tělesa hald odkrytá a plošně lokalizovatelná.

Metoda ERT, obr. 4, detailně popsala jak vertikální (tektonika), tak horizontální (litologie, haldoviny) strukturu zkoumané oblasti.

Společně s metodou DEMP jsme byli schopni definovat oblasti sníženého odporu (do cca 35  $\Omega$ m), které pravděpodobně ve vyšší nebo nižší mocnosti odpovídají kvartérním sedimentům nebo tělesům haldového odpadu. V těchto zónách předpokládáme zvýšenou akumulaci kontaminovaných podzemních vod. Dále bylo vyčleněno několik předpokládaných litologických typů, kdy se u hornin s nižšími odpory pravděpodobně jedná o křídové sedimenty a u domén nad 700  $\Omega$ m, o horniny krystalinika s velmi velkým rozptylem stupně zvětrání – v případě profilu 1 rostly hodnoty až nad úroveň 10 000  $\Omega$ m, což pravděpodobně odpovídá krystalinickému suku v okolních sedimentech. Velký význam mělo několik základních porušených zón, které pak byly v zájmovém území lokalizovány v podobě úzkých subvertikálních těles. Všechna tato tělesa mohou sloužit jako preferenční cesta



**Obr. 5** Výsledky měření metodou XRF – zobrazené koncentrace arsenu v ploše



pro značně znečištěné podzemní vody a byla dále doporučena k sledování monitorovacími vrty.

Z přibližně čtyřiceti možných detekovatelných prvků metodou XRF vybíráme pouze arsen na obr. 5. Kromě očekávaných skoro extrémních hodnot na samotných haldách zasluhuje pozornost několik oblastí mimo tyto haldy, především jižně a severozápadně od Kaňku.

Původ těchto anomálií je zatím nejasný. Z celého komplexu terénního měření na lokalitě Kaňk vzniklo několik základních poznatků, jejichž první souhrn je zobrazen na obr. 6 ve formě svodného schématu indikací tektonického porušení a zvýšených mocností antropogenních sedimentů. Tyto zóny jsou jedním ze základních podkladů pro zpracováváný HG model lokality. Díky metodě XRF se podařilo sestavit plošné 2D mapy koncentrací vybraných prvků, kdy vybraná riziková místa budou dále zkoumána.

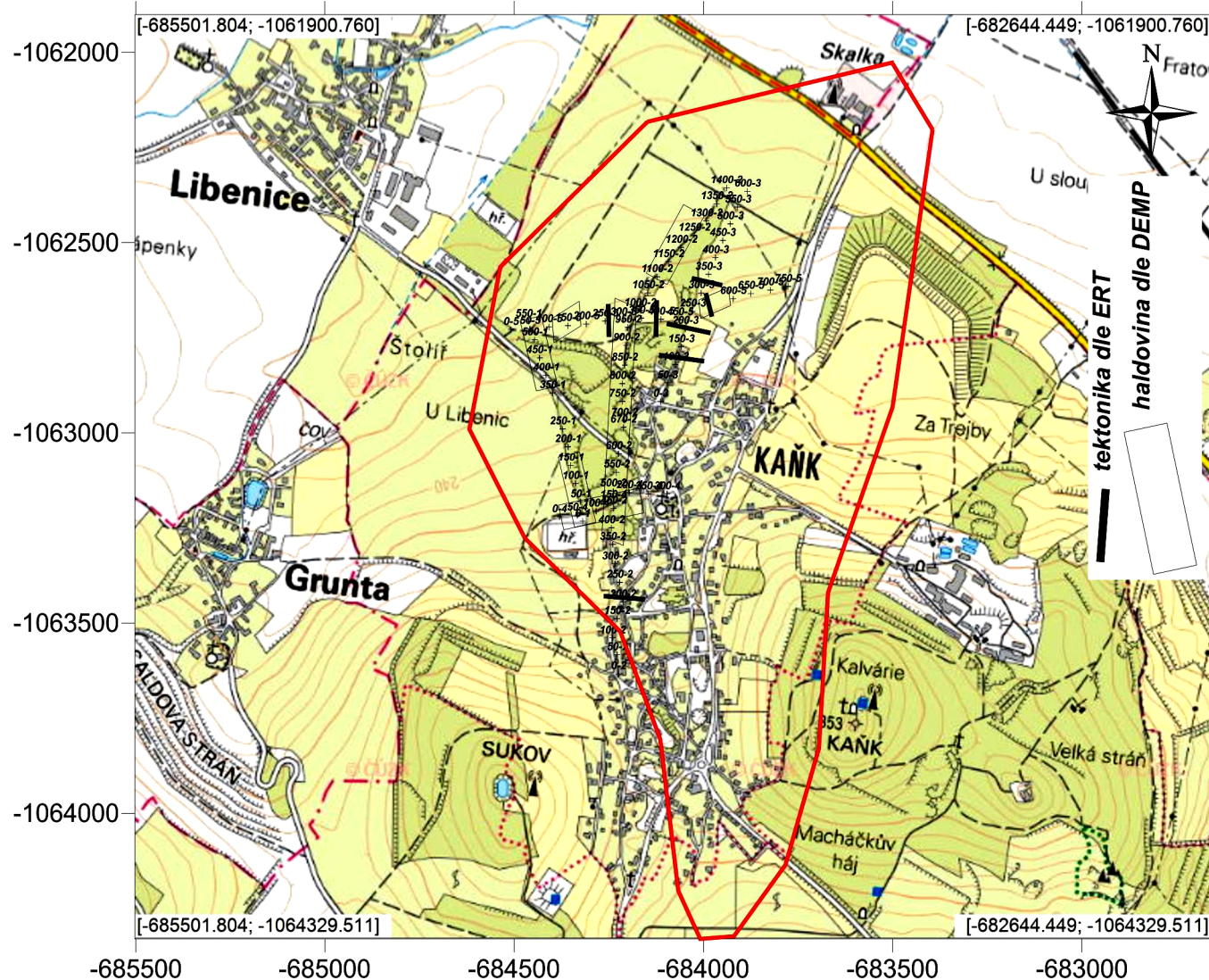
#### Reference

HALL, G., E., M., BONHAM-CARTER, F., BUCHAR, A. Evaluation of portable X-ray fluorescence (pXRF) in exploration and mining: Phase 1, control reference materials, 2014, *Geochemistry Exploration Environment Analysis* 14(2):99-123 DOI: 10.1144/geochem2013-241.

HOLUB, M., VODOCHODSKÝ, L. Model zonálnosti primárních aureol polymetalických žil v severní části kutnohorského revíru - MS, *archiv ČGS - Geofond*, 1977, P34286.

KRÁLOVÁ, J., KREMLA, J. Výročí kutnohorských minerálů, 2000, webová stránka, přístup 3. 7. 2018 na <https://www.cms-kh.cz/vyroci-kutnohorskych-mineralu>

MÁCHOVSKÁ, Z. Analýza rizik území ve správě s.p. DIAMO o. z. SUL Příbram, bývalého důlně-úpravárenského závodu Kaňk - Kutná Hora, Aquatest a.s., Praha 2, 2006



**Obr. 6** Svodné interpretační schéma terénních prací na lokalitě Kaňk

- PERTOLDOVÁ, J., KADLECOVÁ, R., MAJER, V., RAMBOUSEK, P., ŠTĚDRÁ, V. Distribuce arsenu v okolí Kutné hory, 2000, webová stránka, přístup 3. 7. 2018 na <http://www.sci.muni.cz/~sulovsky/IC2002/Field%20guide/Distribuce%20arsenu%20v%20Kutne%20Hore.htm>
- ZEMAN, J. Mobilita arsenu v důlních vodách ložiska Kaňk v Kutné hoře, 2011, rešerše k bakalářské práci PřF MÚ v Brně, webová stránka, přístup 3. 7. 2018 na [https://is.muni.cz/th/327646/prif\\_b/reserse\\_k\\_bakalarske\\_praci.pdf](https://is.muni.cz/th/327646/prif_b/reserse_k_bakalarske_praci.pdf)
- 

### **Autoři**

<sup>1</sup> Mgr. Jaroslav Jirků, G IMPULS Praha, Přístavní 24, Praha 7, [jirku@gimpuls.cz](mailto:jirku@gimpuls.cz)

<sup>2</sup> RNDr. Jaroslav Bárta, CSc., G IMPULS Praha, Přístavní 24, Praha 7, [barta@gimpuls.cz](mailto:barta@gimpuls.cz)