

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE, PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA
Ústav geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů

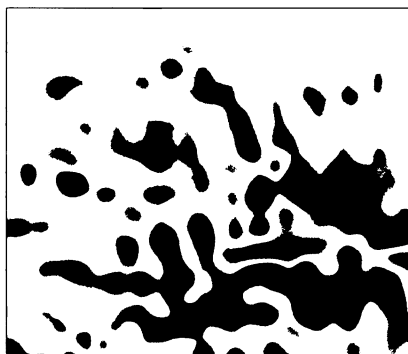


Filtrace odporových dat z geofyzikálního měření na archeologické lokalitě „hradiště Hůrka - kostel sv. Kříže“

Filtering of resistivity data from geophysical survey on
archaeological locality "Hillfort Hůrka - St. Cross Church"

Bakalářská práce

Böhmová Drahomíra



Vedoucí bakalářské práce: RNDr. PhDr. Jiří Dohnal

Praha, srpen 2009

UŽITÁ GEOFYZIKA
ARCHEOLOGIE I
GEOELEKTRICKÉ MET
ODY
MAGNETOMETRIE
HRADIŠTĚ HŮRKA

ABSTRAKT

Práce se zabývá možnostmi optimalizovat grafické výstupy plošných geofyzikálních měření pomocí filtrů, obsažených v programu Surfer 8 (Golden Software). Pro zpracování byla použita data z detailního geoelektrického měření na lokalitě „hradiště Hůrka – kostel sv. Kříže“ u Starého Plzně. V práci jsou shrnuty geologické, geofyzikální, historické a archeologické údaje o lokalitě a dokumentovány grafické výstupy různých typů filtrů (low-pass, high-pass, 1.derivace, 2. derivace a další). Cílem bylo stanovit takovou kombinaci filtrů, která ve výstupu zvýrazní lineární nehomogenity způsobené archeologickými objekty a zároveň potlačí vliv geologických efektů. Z výsledků vyplývá, že pro detekci a odstranění vlivu odporového rozhraní lze využít řadu filtrů typu 1. derivace, pro zvýraznění lineárních odporových extrémů se jako optimální projevil filtr Difference of Gaussian 7x7 ze skupiny filtrů typu 2. derivace, případně jeho kombinace s dalšími filtry.

SUMMARY

The project deals with means of optimizing the graphic outputs of areal geophysical measurements using filters included in the Surfer 8 (Golden Software) application. Detailed geoelectrical resistivity data from the locality called "hradiště Hůrka – kostel sv. Kříže" ("Hillfort Hůrka - St. Cross Church") nearby Starý Plzenec were used in this project. It sums up geological, geophysical, historical and archaeological data about the locality as well as it documents graphic outputs of different kinds of filters (low-pass, high-pass, 1. derivation, 2. derivation and others). The goal of this project was to determine such a combination of filters that will highlight linear inhomogeneities caused by archaeological objects and will suppress the natural geological effects at the same time. The results indicate that we can use number of 1st derivation filters for detection and elimination of the natural resistivity boundary influence. "Difference of Gaussian 7x7" filter from the group of the 2nd derivation filters and its combination with other filters proved optimal for highlighting the linear resistivity extremes.

PODĚKOVÁNÍ

Na prvním místě děkuji svému školiteli RNDr. PhDr. Jiřímu Dohnalovi za báječné, velmi přínosné a přátelské vedení při psaní této práce a za mnoho užitečných rad a materiálů vedoucích k jejímu úspěšnému zpracování.

Dále patří mé díky PhDr. Marii Waskové, coby zástupkyni Západočeského Institutu pro ochranu a dokumentaci památek v Plzni (ZIP o.p.s.), která mi poskytla materiály zejména pro archeologickou část této práce.

V neposlední řadě děkuji své rodině a přátelům za podporu, které se mi během psaní od nich dostávalo.

OBSAH

1. ÚVOD	1
2. GEOLOGICKÉ POMĚRY	2
2.1. Geologie širšího okolí lokality	2
2.2. Geologie oblasti Hůrka	5
3. GEOFYZIKÁLNÍ PROZKOUMANOST LOKALITY A BLÍZKÉHO OKOLÍ	6
4. ODPOROVÉ VLASTNOSTI HORNIN	7
5. HISTORICKÉ A ARCHEOLOGICKÉ POZNATKY O LOKALITĚ	8
5.1. Historie Hradiště Hůrka	8
5.2. Prostor kostela sv. Kříže a okolí	9
5.2.1. <i>Kostel sv Kříže</i>	9
5.2.2. <i>Oblast geofyzikálního měření</i>	12
6. GEOFYZIKÁLNÍ PRŮZKUM LOKALITY	13
6.1. Použité metody a metodika	13
6.2. Výsledky průzkumu	13
6.2.1. <i>Symetrické odporové profilování</i>	13
6.2.2. <i>Dipólové elektromagnetické profilování</i>	14
6.2.3. <i>Souhrn</i>	14
7. FILTRACE	16
7.1. Použitý software a druhy filtrů	16
7.1.1. <i>Low-pass filtry</i>	17
7.1.2. <i>High-pass filtry</i>	17
7.1.3. <i>Filtry řádu první derivace</i>	17
7.1.4. <i>Filtry řádu druhé derivace</i>	17
7.2. Metodika použité filtrace	18
7.2.1. <i>Primární zpracování dat</i>	18
7.2.2. <i>Odstranění odporového (litologického) rozhraní</i>	18
7.2.3. <i>Použití Low-pass filtrů – vyhlazení dat</i>	18
7.2.4. <i>Aplikace high-pass filtrů – zvýraznění lokálních extrémů</i>	18
7.2.5. <i>Využití filtrů řádu druhé derivace – detekce lokálních extrémů</i>	19
7.2.6. <i>Další použité filtry</i>	19
8. VÝSLEDKY – GRAFICKÉ VÝSTUPY	20
9. ZÁVĚR	26
10. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	27

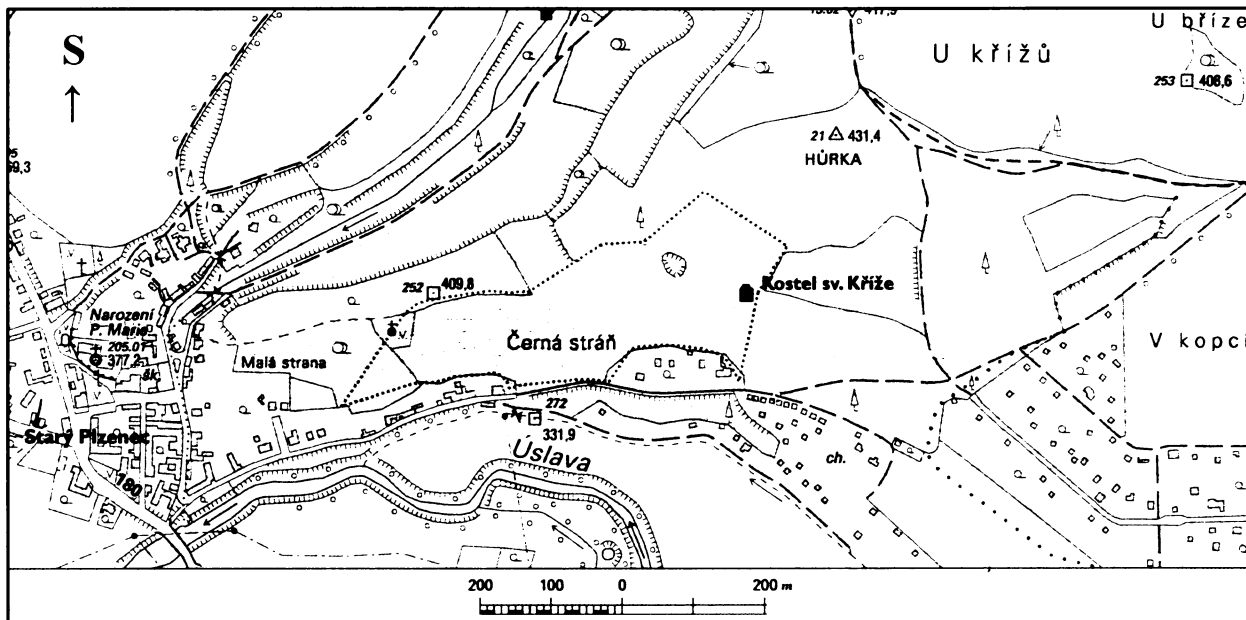
1. ÚVOD

V oblasti archeologických výzkumů jsou geofyzikální metody velmi ceněné vzhledem ke svému neinvazivnímu charakteru vůči terénu a zkoumaným archeologickým pozůstatkům. Důležitým aspektem z hlediska prezentace výsledků geofyzikálních měření je i zpracování naměřených dat. Účelem této práce je jednak přiblížit vybranou archeologickou lokalitu, kde bylo v roce 2004 uskutečněno mimo jiné i detailní geoelektrické měření, a jednak prezentovat možné způsoby filtrace, které vedou k lépe „čitelným“ grafickým výstupům, na nichž jsou jasně identifikovatelné (lineární) nehomogenity způsobené právě archeologickými objekty. Tématem práce je empirické ověření možností různých typů filtrace pomocí programu Surfer8 firmy Golden Software na archeologické lokalitě hradiště Hůrka - kostel sv. Kříže, která se nachází na katastru obce Starý Plzenec jihovýchodně od Plzně.

Struktura práce je následující. Ve druhé kapitole jsou přiblíženy geologické poměry lokality, a to v regionálních i lokálních souvislostech. Následující dvě krátké kapitoly se věnují geofyzikální prozkoumanosti a odporovým vlastnostem hornin, které jsou na lokalitě zastoupeny. V páté kapitole je uveden souhrn dosavadních historických a archeologických poznatků o lokalitě a v šesté základní informace o realizovaném geofyzikálním průzkumu v prostoru kostela sv. Kříže. Hlavní část práce (kapitola sedmá) je orientována na softwarové možnosti filtrování odporových dat z hlediska grafických výstupů pro potřeby archeologie a je zde uveden přehled použitých filtrů. Osmá kapitola obsahuje grafické výstupy použitých filtrů, jejich srovnání a stručný komentář.

2. GEOLOGICKÉ POMĚRY

Lokalita hradiště Hůrka se nachází ve vzdálenosti přibližně 8 km jihovýchodně od Plzně, a to na výrazné morfologické elevaci vystupující až do výšky 431 m n. m. Zájmový prostor leží v prostoru Plzeňské synklinály (Mašek 2001).



Obr. 1. Pozice kostela sv. Kříže (podle Zeměměřičský úřad, 2006)

2.1. Geologie širšího okolí lokality

Z regionálního hlediska se zde setkáváme s několika geologickými jednotkami, a to hlavně s barrandienským (svrchním) proterozoikem a (spodním) paleozoikem, západočeským karbonem (Plzeňská pánev), terciérem a samozřejmě s kvartérními uloženinami.

Celá oblast je charakteristická poměrně složitou tektonickou stavbou.

Svrchní proterozoikum (dříve zvané algonkium)

Kralupsko-zbraslavská skupina

Proterozoikum severozápadního křídla Barrandienu je zastoupeno zvrásněným a slabě metamorfovaným souborem sedimentárních i vulkanických hornin (Mašek a kol. 1987).

Ze sedimentů, resp. metasedimentů silně převládají mezi proterozoickými horninami droby a břidlice, často fylitické (Mašek a kol. 1997, Mašek 2001). Jsou tvořeny úlomky sedimentů i vyvřelin - křemenem, živcem, slídami, chloritem, aj. Objevují se i typy sedimentů se skluzovými závalky (tvořenými hlavně břidlicemi, prachovci a méně drobami). Tyto sedimenty, spjaté zpravidla s výskytem vulkanitů a vzniklé patrně z podmořských skluzů popisuje Mašek a kol. (1997). Významné zastoupení mají též silicity (bulžníky), které tvoří plochá a rozsáhlá masivní tělesa. Mezi vulkanogenními horninami vystupují „spility“ - metabazalty tholeiitového složení, a to většinou efuzivního charakteru (běžné jsou brekciové typy a polštářové lávy).

Spodní paleozoikum

Barrandienské spodní paleozoikum je v zájmovém prostoru vázáno na synklinálu, která sem zasahuje svým jz. koncem, a je tvořeno převážně břidlicemi a křemenci (ordovického stáří).

KAMBRIUM

Kambrium je zastoupeno kontinentálními klastickými horninami, řazenými do *pavlovského souvrství*, které místy vystupují východně od Hůrky. Souvrství je tvořeno hlavně polymiktními slepenci s převahou valounů silicitů, drob, křemene a s úlomky ryolitových vulkanitů, ojediněle i andezitů.

ORDOVIK

Jak uvádějí Mašek a kol. (1987), uloženiny *tremadoku* se v této oblasti vyskytují naprosto minimálně (zastoupeny šedo zelenými pískovci). Ordovické moře poprvé dosáhlo ke Starému Plzenci až ve spodním arenigu. Vrstevní sled pak pokračuje uloženinami llanvirnu, dobrotivu, spodního a středního berounu a končí svrchnoberounským vinickým souvrstvím. Ojediněle se objevují i acidní žilné horniny, jako např. žíly leukogranitu jižně od starého Plzece (Mašek 2001).

Klabavské souvrství (arenig)

Klabavské souvrství tvoří převážně šedo zelené jílovité břidlice s kolísavou terigenní a místy i slabou tufitickou příměsí. Báze klabavského souvrství je tvořena hrubými klastiky o mocnosti kolem 1 m. V místech transgrese arenigského moře přes kambrické pískovce obsahuje základní jílovito-písčité hmoty se slabým podílem tufitického materiálu hojně valounky křemene a silicitu. Tam, kde uloženiny klabavského souvrství spočívají na proterozoiku, je báze souvrství tvořena přemístěným eluvem proterozoických břidlic s ojedinělými úlomky silicitu. Mocnost klabavského souvrství dosahuje 50 – 60 m a směrem k ose pražské pánve stoupá a předpokládá se mocnost až přes 100 m.

Šárecké souvrství (llanvirn)

Šárecké souvrství je tvořeno černými břidlicemi. Báze šáreckých vrstev o mocnosti cca 1,5 m je tvořena tmavou pelokarbonátovou břidlicí s hojnými pelokarbonátovými ooidy. Předpokládaná mocnost šáreckého souvrství je zhruba 20 m.

Dobrotivské souvrství (dobrotiv)

Jak uvádějí Mašek a kol. (1987), náleží dobrotivskému souvrství monotónní sled černých jílovitých břidlic s kolísavou prachovou příměsí. Mocnost souvrství se odhaduje přibližně na 100 m

Libeňské souvrství (spodní beroun)

Mašek (2001) uvádí, že libeňské souvrství je vyvinuto v podobě běložlutých a světle šedých křemenců řevnických, obsahujících četné vložky černých břidlic. Některé lavice obsahují i četné „závalky“ jílovitých břidlic. Mocnost libeňského souvrství dosahuje 100 – 150 m.

Letenské souvrství (střední beroun)

Podle Havlíčka a Šnajdra (1957) je letenské souvrství tvořeno šedými silně jílovitými drobami, černými břidlicemi s prachovou a písčitou příměsí a prachovci. Ve spodní části obsahuje několik dm mocnou polohu „závalkovitého“ pískovce s angulárními a zaoblenými „valounky“ břidlic o velikosti i několika cm.

Vinické souvrství (svrchní beroun)

Vinické souvrství je tvořeno černými jílovými břidlicemi s prachovou příměsí (Mašek a kol. 1987). Jeho kontakt s podložním letenským souvrstvím je neostrý. Mocnost vinického souvrství se uvádí v řádu několika desítek metrů.

Svrchní paleozoikum - KARBON

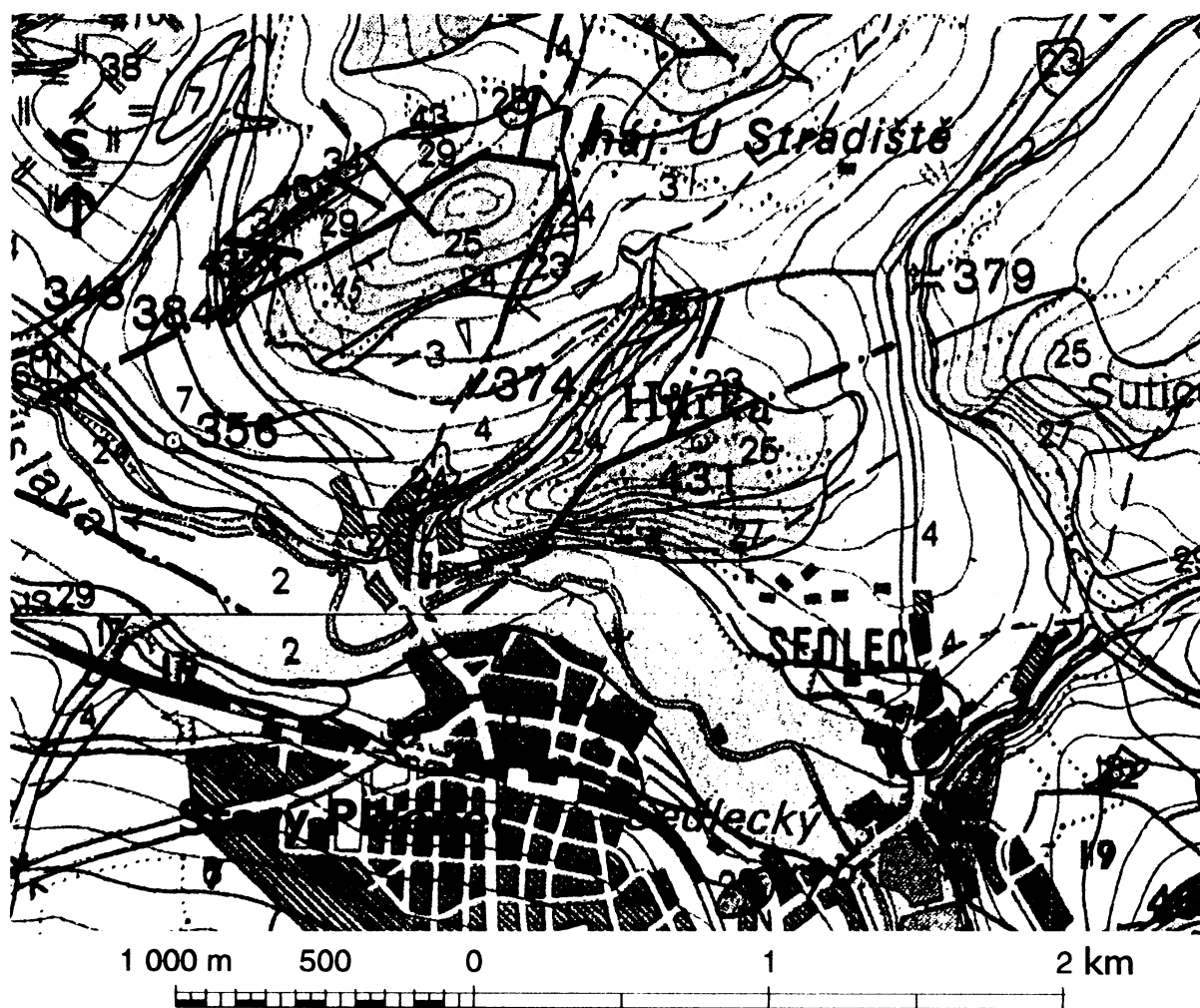
Horniny svrchního karbonu vystupují především v oblasti Plzeňské pánve, a to v podobě arkózovitých pískovců, slepenců, prachovců aj. (Mašek 2001, Mašek a kol. 1997). Hlavními zastoupenými litostratigrafickými jednotkami jsou *souvrství kladenské, týnecké, slánské a líšské*.

Terciér

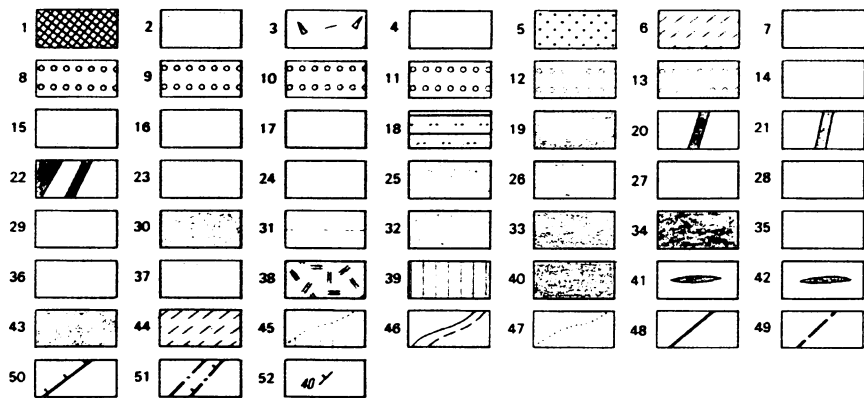
Z terciérních sedimentů jsou v oblasti zastoupeny především fluviální písčité štěrky, často s polohami jílu (Mašek 2001, Mašek a kol. 1987). Vyskytuje se v nich křemen, bulžník, křemence, železité pískovce a slepence. Mocnost této sedimentární vrstvy pliocenního stáří může dosahovat až 10 m (Mašek 2001).

Kvartér

Do skupiny uloženin kvartérního stáří patří pleistocenní fluviální sedimenty v podobě jílovitopísčitých až písčitých štěrků tvořících terasové stupně (günz, mindel, riss, würm), dále deluvioeolické produkty (sprašové hlíny o mocnosti 2 – 4 m) a eluvia. Zastoupeny jsou i holocenní fluviální a deluviofluviální uloženiny s mocností nepřesahující zpravidla 2 m, a deluviální sedimenty s mocností od 2 do 5 m. V menší míře se zde nacházejí antropogenní uloženiny soustředěné zejména v oblastech městských aglomerací. (Mašek a kol. 1997).



Obr. 2. Výřez z geologické mapy (podle Mašek a Straka, 1994, 1997a)



KVARTÉR, holocén: 1 – antropogenní uloženiny; 2 – deluviofluviální a fluviální písčitolhinité, jílovitopísčité a jílovitokamenité sedimenty;
holocén – pleistocén: 3 – deluviální hlinitokamenité sedimenty s bloky; 4 – deluviální hlinitokamenité a hlinitopísčité sedimenty;
pleistocén: 5 – naváté písky; 6 – eolickodeluviální jílovitopísčité sedimenty s úlomky hornin; 7 – spraše a sprašové hlíny; 8 – fluviální písčité štěrky (wurm); 9 – fluviální písčité štěrky (riss); 10 – fluviální písčité štěrky (mindel 2); 11 – fluviální písčité štěrky (mindel 1); 12 – fluviální jílovitopísčité štěrky (günz);
TERCIÉR, pliocén: 13 – fluviální jílovitopísčité štěrky;
miocén: 14 – fluviální štěrkovité písky s polohami jílu;
PALEOZOIKUM – karbon: 15 – líšské souvrství (stefan); 16 – slánské souvrství (stefan); 17 – týnecké souvrství (stefan); 18 – kladenské a týnecké souvrství nerozlišené (westfal – stefan); 19 – kladenské souvrství (westfal);
PALEOZOIKUM, magmatity blíže neurčeného stáří: 20 – granitový porfyr; 21 – tmavé žilné horniny; 22 – granodiorit;
ordovik: 23 – vinické souvrství (beroun); jílové břidlice; 24 – letenské souvrství (beroun); jílovité droby; 25 – libeňské souvrství (beroun); facie řevnických křemenců; 26 – dobrotivské souvrství (dobrotiv) facie skaleckých křemenců; 27 – dobrotivské souvrství (dobrotiv); facie černých břidlic; 28 – šárecké souvrství (llanvim); černé břidlice; 29 – klabavské souvrství (arenig); šedo zelené břidlice, místy s tuřity; 30 – třenické souvrství (tremadok); šedo zelené pískovce; 31 – sedimentární Fe rudy;
kambrium: 32 – rylit (svrchní kambrium); 33 – andezit (svrchní kambrium); 34 – pavlovské souvrství; pestré polymiktiní slepence (svrchní kambrium); 35 – ohrazenické souvrství (střední kambrium); křemenné slepence a pískovce;
SVRCHNÍ PROTEROZOIKUM, kralupsko-zbraslavská skupina: 36 – břidlice, střídání břidlic a drob, převaha břidlic; 37 – droby, střídání drob a břidlic, převaha drob; 38 – sedimenty se skluzovými závalky; 39 – sedimenty proterozoika nerozlišené; 40 – silicity (buližníky); 41 – černé (grafitoidní) břidlice; 42 – vápence; 43 – metabazalt, metatuf („spilit“); 44 – chlorit-sericitický fylit;
 45 – kontaktní dvůr; 46 – zjištěná hranice jednotek a hornin; 47 – pravděpodobná, přesně nezjištěná hranice jednotek a hornin; 48 – zlom; 49 – zlom předpokládaný nebo nepřesně lokalizovaný; 50 – přesmyk; 51 – zlom (přesmyk) zakrytý; 52 – směr a sklon vrstev (foliace).

Obr. 2a. Legenda ke geologické mapě na obr. 2

2.2. Geologie oblasti Hůrka

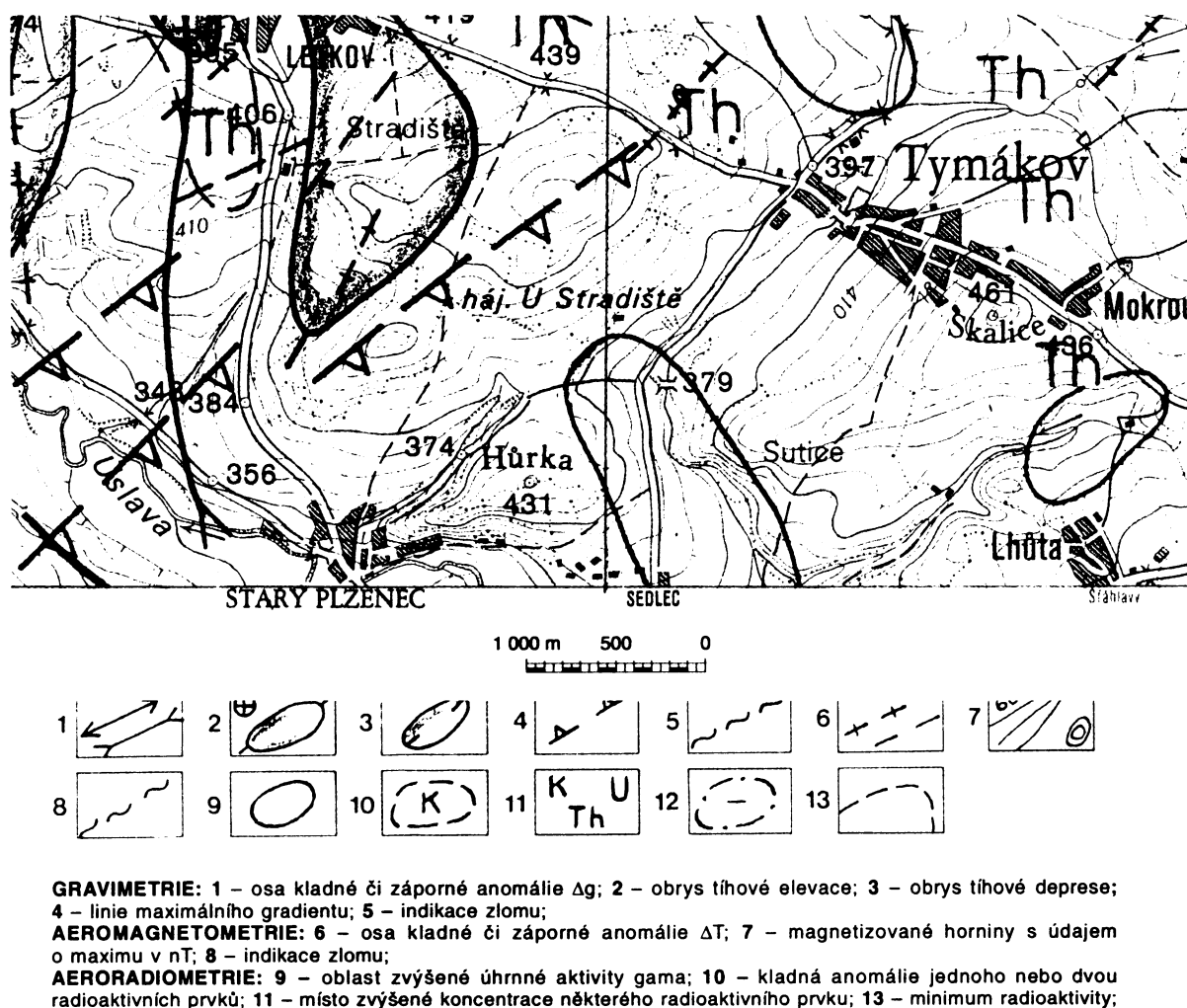
Hradiště Hůrka se nachází jv. od Plzně na morfologicky výrazné elevaci, protažené ve směru VSV – ZJZ. Budují ho horniny ordovického stáří (stupeň dobrotiv a beroun) s větším zastoupením odolnějších křemenců, které zde byly často využívány jako kvalitní stavební kámen. Vlastní lokalita je situována západně od vrcholové partie hřbetu Hůrky, v nadmořské výšce 421 až 424 m.

Skalní podklad zájmové plochy tvoří z větší části jílovité droby letenského souvrství (stupeň beroun), jižně od nich vystupují horniny libeňského souvrství ve facii řevnických křemenců (střídání lavic křemenců s vložkami břidlic, stupeň beroun). Jižní svahy hřbetu Hůrky budují jílovité břidlice dobrotivského souvrství (stupeň dobrotiv). Mocnost kvartérního pokryvu pravděpodobně nepřesahuje první metry a jedná se především o hlinitokamenitá a hlinitopísčitá eluvia a deluvia s lokálním zastoupením antropogenních uloženin.

Oblast Hůrky je postižena mírnou vrásovou deformací variského stáří Tato velká, plochá synklinála, zvaná plzenecká, sem zasahuje svým brachysyklinálním uzávěrem (Mašek 2001).

3. GEOFYZIKÁLNÍ PROZKOUMANOST LOKALITY A BLÍZKÉHO OKOLÍ

Zájmová lokalita se nachází v oblasti, která byla pokryta regionálním geofyzikálním měřením (gravimetrie, aeromagnetometrie, aeroradiometrie); výsledky těchto měření v souhrnné formě naposledy uvádějí Manová a Šalanský (1997). V prostoru Hůrky nebyly zjištěny žádné anomálie použitých metod. Pouze východně od hradiště Hůrka se nachází nevýrazná radiometrická anomálie, která se projevuje zvýšenou úhrnnou gama-aktivitou v rozmezí hodnot 14 – 16 Ur (Obr. 3). Přibližně ve stejném prostoru byly zachyceny i zvýšené hodnoty magnetického pole podle aeromagnetometrického měření s maximem kolem + 25 nT.



Obr.3. Výřez z geofyzikální mapy znázorňující polohu aeroradiometrické anomálie v prostoru východně od hradiště Hůrka (podle Manová a Šalanský 1997a).

Přímo v areálu hradiště Hůrka se geofyzikální průzkum (před měřením u kostela sv. Kříže) konal pouze jednou, a to pro účely archeologického výzkumu v oblasti bývalého kostela sv. Vavřince, kde se detailní plošné měření uskutečnilo na ploše 25 x 38 m. Tato zkoumaná lokalita se nacházela jižně a jihovýchodně od odkrytých základů vrcholně středověkého kostela sv. Vavřince. Použitými metodami pro lokalizaci zaniklé raně středověké sakrální stavby, která byla později nahrazena dnes odkrytým kostelem, byly tři geoelektrické odporové

metody (symetrické odporové profilování, dipólové elektromagnetické profilování, multielektrodové odporové měření) a magnetometrie (Dohnal a kol. 2002). Odporové měření na této lokalitě zachytilo anomální strukturu, která byla interpretována jako relikty starší sakrální stavby.

Dále stojí za zmínku již jen geofyzikální průzkum uskutečněný na vzdálenější lokalitě (severně od Hůrky), a to na Letkově Bártou (1967).

4. ODPOROVÉ VLASTNOSTI HORNIN

Protože se tato práce zabývá zpracováním dat geoelektrického odporového profilování, budou v této kapitole uvedeny základní informace o měrných odporech hornin. Metoda odporového profilování umožňuje zjistit velikost zdánlivého měrného odporu ρ_z [Ωm] podél profilu při dané vzdálenosti proudových a měřicích elektrod (Hašek a Měřínský 1991). Potom ρ_z [Ωm] = $k \cdot \Delta U / I$, kde k [m] je konstanta uspořádání závislá na vzdálenostech jednotlivých elektrod, ΔU [mV] je měřené napětí a I [mA] je měřený proud. Diference v měřených odporech mohou být podmíněny buď litofaciálními změnami ve zkoumaném prostředí nebo přítomností archeologických objektů s anomálním (zvýšeným či sníženým) měrným odporem v půdní či horninové vrstvě.

Měrný elektrický odpor hornin je ovlivněn řadou přirozených geologických a hydrogeologických faktorů, a to mineralogickým složením, porozitou a stupněm nasycení hornin vodou, mineralizací vody zaplňující póry, strukturou a texturou hornin, teplotou a tlakem (Mareš a kol. 1990).

Vzhledem k absenci konkrétních dat o měrných odporech ze zkoumané lokality musíme vycházet pouze z publikovaných obecných informací (Hašek a Měřínský 1991, Karous 1989, Mareš a kol. 1990).

Měrné odpory vybraných sedimentárních hornin v [Ωm]:

Jílovité břidlice	$10^1 - 10^3$
Droby	$10^2 - 10^3$
Křemence	$10^3 - 10^5$
Slepence	$10^2 - 10^3$

Z kvartérního pokryvu lze uvést měrné odpory [Ωm] pro:

Ornice	10^1
Písek, hrubý písek, rozložená podložní hornina (eluvia)	10^2
Svahové hlíny	$10^1 - 10^2$
Písky a sutě s různým zastoupením hlinitých komponent (deluvia)	$10^2 - 10^3$

Základová zdiva z kamenů v prostředí jílové půdy, jílovito-písčité půdy, psamitů a skalního podloží se podle Haška a Měřínského (1991) projevují vůči okolí obecně zvýšenými odpory.

5. HISTORICKÉ A ARCHEOLOGICKÉ POZNATKY O LOKALITĚ

5.1. Historie hradiště Hůrka

Hradiště Hůrka leží na výrazné ostrožně nad pravým břehem řeky Úslavy na katastrálním území města Starý Plzenec, které tvořilo původně jeho podhradí. Archeologické nálezy svědčí o osídlení tohoto prostoru již od 5. tisíciletí př.n.l. (v pozdní době kamenné a starší době železné). Počátky slovanského osídlení sahají do 8. století n.l. Po podmanění celých Čech Přemyslovci před polovinou 10. století se rozlehlé hradiště stalo centrem regionální státní správy (Široký - Šormová 2004). V dobových pramenech je nazýváno hradem Plzní, zatímco dnešní Starý Plzenec nesl později označení (Stará) Plzeň. První písemná zmínka o hradišti je z roku 976, kdy česká posádka hradu svedla v podhradí vítěznou bitvu s vojskem německého císaře Otty II. Strategický význam hradiště podtrhovala i skutečnost, že vzniklo při důležitých spojnicích Čech se západní Evropou, na křižovatce obchodních cest spojujících Prahu s Řeznem a Norimberkem.

Od 10. století byl hrad Plzeň nejvýznamnější pevností kraje, nejpozději od poloviny 11. století se stal také nejdůležitějším článkem tzv. hradské správy v západních Čechách, centrem plzeňské provincie. Právě tehdy byl dovršen tento systém vlády nad přemyslovským státem a nejvýznamnější hrady, mezi nimi i Plzeň, se staly sídlem knížecích úředníků zajišťujících státní správu, především výběr daní a soudnictví. V letech 1213-1216 spravoval hrad Děpolt z vedlejší přemyslovské větve, od roku 1224 do roku 1228 pozdější král Václav I. jako vévoda plzeňský.

Dokladem významu hradu Plzně v raném středověku je existence mincovny, jejíž fungování je bezpečně doloženo ve dvou obdobích. Denáry zde přibližně v letech 1010-1012 razil kníže Jaromír, v této činnosti pak pokračoval i Václav I.

Panovník se svou družinou býval na významných hradech častým hostem. Při organizační a ekonomické nedokonalosti raně středověkého státu bylo totiž nezbytné udržovat pravidelný přímý kontakt s podřízenými úředníky, bylo nutné „vládnout ze sedla koně“. Staré listiny nás však informují jen o jediném pobytu panovníka na hradě Plzni; roku 1109 zde Vánoce trávil kníže Vladislav.

Ve druhé polovině 13. století přestal mít starý systém hradské správy význam, okolní krajina byla již rozdělena mezi vlastníky z řad šlechty a církevních institucí. Svůj správní a pevnostní význam rychle ztrácel i hrad Plzeň. Oporou královské moci se stávala nově zakládaná města. Z výsledků nejnovějších archeologických výzkumů vyplývá, že o založení takového vrcholně středověkého města se na okraji levobřežního podhradí pokusil král Přemysl Otakar II. V souvislosti s tímto založením věnoval v červnu 1266 všechny plzeňské kostely i s bohatým majetkovým příslušenstvím chotěšovskému klášteru. Koderer a kol. (2002) uvádějí, že v této darovací listině je poprvé zmíněn i kostel sv. Kříže. K úpadku podhradního města dochází po založení „Nové Plzně“ kolem roku 1295 a funkci vlastního hradiště přejímá později postavený královský hrad Radyně.

Široký a Šormová (2004) s Koderou a kol. (2002) však shodně popisují, že ani po zániku správní a pevnostní funkce hradiště zde osídlení zcela nezaniklo. Na akropoli podle všeho fungovala i nadále zástavba při kostele sv. Vavřince, až do vrcholného středověku zde pravděpodobně byla i fara pro Starý Plzenec. Všechny církevní stavby existovaly až do novověku.

V roce 1978 bylo hradiště Hůrka vyhlášeno Národní kulturní památkou. V letech 2003-2004 bylo provedeno podrobné revizní vyhodnocení starších archeologických výzkumů na celé ploše hradiště a byl zahájen podrobný povrchový průzkum celého areálu

Celé hradiště zaujímalu plochu větší než 1 ha a bylo chráněno valy. Ty jsou dodnes patrné na východní straně, částečně i na západě. Na jihu a severozápadě vymezují akropoli prudké svahy. Přístup do prostoru hradiště vedl pravděpodobně od východu. Vnitřní zástavba byla z větší části dřevěná. Z kamenných staveb se dodnes zachovala pouze románská rotunda sv. Petra z 10. století na západním předhradí; kolem ní se původně nacházel hřbitov. Pouze v základech zůstal zachován hradní kostel sv. Vavřince v téměř nejvyšším bodě ostrožny a kostel sv. Kříže na východním předhradí. Pozůstatky drobné kamenné stavby jsou patrné i v prostoru valu nedaleko pozůstatků kostela sv. Vavřince. V místě původního opevněného podhradí pod jižním svahem se dnes nachází část zástavby obce Starý Plzenec.



Obr. 4. Historická mapa lokality hradiště Hůrka a přilehlého okolí (1. vojenské mapování, 1764 - 1783, podle oldmaps.geolab.cz)

Závěrem historického exkurzu lze spolu s Širokým a Šormovou (2004) konstatovat, že NKP hradiště Hůrka je dodnes přirozenou dominantou města Starý Plzenec i celého jihovýchodního zázemí plzeňské aglomerace.

5.2. Prostor kostela sv. Kříže a okolí

5.2.1. Kostel sv. Kříže

Raně středověká sakrální stavba je situována před šíjovým opevněním akropole na ploše východního předpolí hradiště Hůrky ve výšce 422,3 - 423,5 m.n.m. (parcela č. 1342/1). Odkryté pozůstatky kostela se nacházejí v těsné blízkosti jižního svahu ostrožny, cca 100 m od valu akropole a asi 130 metrů VSV od kostela sv. Vavřince (Kodera a kol. 2002, Široký a kol. 2005). V jižním sousedství pozůstatků prochází současná lesní cesta. Celá plocha východního předhradí se mírně svažuje k severovýchodu a její většina je dnes zalesněna. Vnější opevnění předhradí není známo, jeho existence je však velmi pravděpodobná. Rozsah osídlené plochy náležející k hradišti východně od akropole současnému poznání zatím uniká.

Kodera a kol. (2002) uvádějí, že k době založení kostela existuje velice málo indicií. Lábek (1925) předpokládá, že vzhledem k poloze se jednalo o kostel, který měl souvislost s víceméně samostatným opevněným dvorcem vybudovaným hradními kastelány. V letech 1192-1238 byl plzeňským kastelánem Oldřich Drslavic. A právě s rodem Drslaviců vznik kostela spojuje. Beran (1947) tento předpoklad dál rozvíjí a dává ho do souvislosti s účastí Drslaviců na křížových výpravách a spekulativně klade vznik kostela do 2. poloviny 12. století. Podle Friedla (1976) i užití patrocina sv. Kříže na jiných stavbách, z nichž žádná patrně nevznikla před rokem 1100, ukazuje na to, že kostel nevznikl dříve než ve 12. století.

Jak zmiňuje Kodera a kol. (2002), první písemná zmínka o kostelu se objevuje v darovací listině krále Přemysla Otakara II. chotěšovskému klášteru z roku 1266. Podle Kodery a kol. (2002) nalézáme kostel sv. Kříže ještě v raně novověkých pramenech, a to v zápisu o rozdělení kokořovského majetku z roku 1624, kde je uveden na prvním místě mezi filiálními chrámy, což svědčí o jeho existenci v této době. Avšak, jak tvrdí Kodera a kol. (2002), jedná se o poslední zmínku dokládající jeho existenci, jelikož v soupisu poddaných podle víry z roku 1651 sv. Kříž již uveden není, stejně jako v popisu kaplí a kostelů z let 1672 – 1674. Neuvádí se ani mezi ostatními plzeňskými kostely při odhadu panství v roce 1719, ani v pozdějších hlášeních či účetním materiálu. A ani Knittova mapa z 18. století chrám nezaznamenává ani jako ruinu. Na základě těchto písemných podkladů Kodera a kol. (2002) usuzují, že nejpravděpodobnější období zániku kostela lze položit do doby třicetileté války (1618-1648).

Archeologické výzkumy na hradišti Hůrka probíhaly poprvé v letech 1906 – 1909, a jak uvádí Široký a kol (2005), byly pozůstatky kostela sv. Kříže odkryty až v posledním roce tehdejšího průzkumu. Poté došlo k jejich zasypání a v letech 1920 – 1921 byly reliкty opět odkryty a zkoumány. V návaznosti na tento objev byla v roce 1921 provedena konzervace odkrytých pozůstatků a definitivní úprava terénu, která je v zásadě dochována dodnes. V roce 1974 bylo provedeno podrobné zaměření celé ostrožny, na níž se hradiště nachází (Široký a kol 2005, Kodera a kol. 2002). V téže roce byly reliкty kostela sv. Kříže vyhlášeny nemovitou kulturní památkou. Poslední archeologický průzkum se uskutečnil v roce 2005. Jeho cílem bylo zajištění co nejlepšího a nejvhodnějšího způsobu záchrany této památky (Široký a Šormová 2004, Široký a kol. 2005).

Současný stav pozůstatků kostela svatého Kříže podrobně popisuje rozbor terénní situace podle Širokého a kol. (2005). Odkryté zdivo kostela o rozměrech cca 23,50 x 12,40 se nachází pod úrovní současného okolního terénu v zahloubenině s vysvahovanými stěnami. Zatímco se úroveň okolního terénu pohybuje v intervalu 422,80-424,28 m n.m., dno zahloubeniny dosahuje 422,37-423,37 m n.m.

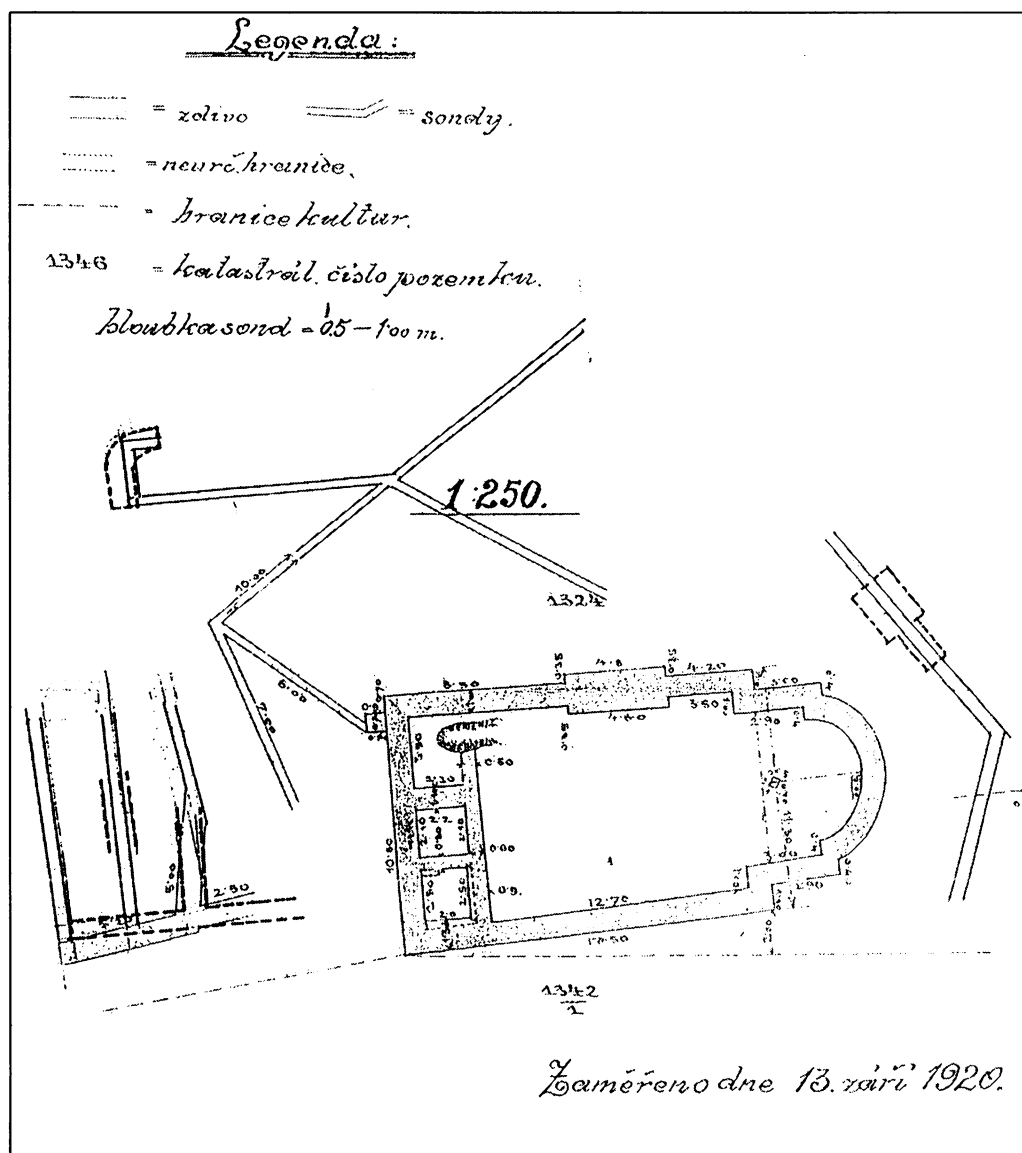
Základy románského jednolodního kostela tvoří lichoběžný, k západu mírně rozšířený půdorys lodi (cca 17,50 x 12,40 m) s příčně umístěným obdélným chórem (10,10 x 3,80 m) a na něj navazující širokou a mělkou apsidou. Šířka obvodového zdiva činí 100-110 cm. Veškerá zkoumaná nadzemní zdiva byla vyžděna z lomového zdiva z křemencových kamenů, ojediněle balvanů. Podle starších archeologických výzkumů (Kodera a kol. 2002) nesla odkrytá podlaha z udusaného jílu stopy požáru a reliкty kostela se nacházely velmi mělce pod tehdejší úrovní terénu (koruna zdiva v hloubce 8-50 cm).

Geodetické zaměření kostela provedené v souvislosti se záchranným archeologickým průzkumem v roce 2005 ve všem podstatném odpovídá starším plánům pořízeným při prvních

Kodera a kol. (2002) uvádějí, že dnešní stav pozůstatků kostela umožňuje vyčlenit tři stavební fáze. V první etapě se zřejmě jednalo o vznik kostela v základní, výše popsané formě na již dříve osídlené ploše. Jeho zdivo z větších převážně hrubě opracovaných lomových kamenů (s převahou je křemence) zřejmě nebylo jednotné. Jako druhou fázi vyčleňuje Kodera a kol. (2002) stavební úpravu, při níž byl do západní části lodi vestavěn trojdílný základ pro emporu či kruchtu; v těchto prostorách byly současně sníženy úrovně oproti podlaze lodi (hrobky). Ve třetí stavební fázi se pak jednalo o likvidaci empory či krucht.

5.2.2. Oblast geofyzikálního měření

Ve dvacátých letech 20. století se v okolí kostela sv. Kříže uskutečnila archeologická sondáž v liniích, které jsou zachyceny na obrázku, který se z té doby dochoval (Obr. 6). Oblast realizovaného geofyzikálního měření se nachází v jeho levé části. Ze zachovaného torza dokumentace k tomuto výzkumu vyplývá, že v prostoru západně od kostela byly některými sondami zachyceny zbytky kamenných základů („podvaly“), nalezena část kostry muže a denár knížete Jaromíra (Široký a kol., 2005).



Obr. 6. Poloha sond a základů podle archeologického výzkumu v roce 1920 (podle Široký a kol. 2005).

6. GEOFYZIKÁLNÍ PRŮZKUM LOKALITY

V souvislosti s archeologickým průzkumem na lokalitě hradiště Hůrka - kostel svatého Kříže bylo provedeno i geofyzikální měření (Dohnal a Jáně 2004). Vlastní plocha geofyzikálního průzkumu byla situována západně od odkrytých základů kostela. Na východní straně navazovala na síť revizního archeologického výzkumu, na jihu byla omezena lesní hřebenovou cestou, na zbylých stranách byla vymezena na základě výsledků starších archeologických výzkumů. Jednalo se o prostor, kde byly orientační archeologickou sondáží ve dvacátých letech 20. století zachyceny relikty zaniklých středověkých staveb, které zřejmě souvisely s kostelem sv. Kříže. Komplexem geofyzikálních metod byla detailně proměřena přibližně obdélná plocha o rozměrech 26 x 25 m s vynechaným klínovitým segmentem na severu s těžce průstupným lesním porostem. Cílem geofyzikálního průzkumu byla detekce a lokalizace možných reliktních zaniklých historických objektů.

6.1. Použité metody a metodika

Geofyzikální měření bylo realizováno v ortogonální měřičské síti a vykrylo zájmovou plochu liniemi profilů P9 až P34 o směru cca ZJZ – VSV. Pro průzkum byla zvolena kombinace tří geofyzikálních metod, a to dvou metod geoelektrických (symetrické odporové profilování, dipólové elektromagnetické profilování - DEMP) a magnetometrie.

Plošné magnetometrické měření umožnilo lokalizovat místa s přítomností magneticky anomálních materiálů (např. železné předměty, propálené polohy atp.), neboť všechny horninové typy zastoupené na lokalitě vykazují velmi nízkou magnetickou susceptibilitu.

Geoelektrické odporové metody umožnily vymapování odporově anomálních zón. Jejich použití vycházelo z předpokladu, že v daném kontextu se zakryté relikty zdí s převažujícím obsahem křemence i destrukce těchto zdí (křemence mají vysoké měrné odpory) projeví v kontrastu proti okolním vodivým zvětralinám jako odporová maxima, větší akumulace kulturních vrstev se mohou naopak projevit jako nevýrazná odporová minima.

Magnetický průzkum byl realizován v síti 1 x 1 m, výška sondy nad zemí byla stanovena na 0,5 m. Výstupem byla mapa izolinií anomálních hodnot ΔT .

Při symetrickém odporovém měření byl zvolen rozstup elektrod A 1 M 1 N 1 B (tomu odpovídá efektivní hloubkový dosah kolem 1 m) a měřičská síť 1 x 1 m. Výstupem byla mapa izolinií zdánlivých měrných odporů ρ_z .

Pro dipólové elektromagnetické profilování byla použita vzdálenost vysílače od přijímače 3,7 m a vertikální orientace cívek (této konfiguraci odpovídá efektivní hloubkový dosah metody 4 až 6 m). Proměřeny byly sudé profily s krokem 1 m. Výstupem byla mapa izolinií zdánlivých měrných odporů $\rho_{z(DEMP)}$.

6.2. Výsledky průzkumu

6.2.1. Symetrické odporové profilování

Ve své zprávě uvádějí Dohnal a Jáně (2004), že proměřený prostor charakterizují zdánlivé měrné odpory v rozmezí 50 až 575 ohmm se středními hodnotami kolem 175 ohmm (Obr. 7). Charakteristickým rysem plošného rozložení odporů je výrazné odporové rozhraní, které probíhá jižní částí plochy ve směru cca JZ – SV a lze je přibližně vymezit izolinií 300 ohmm. Vzhledem k předpokládané malé hloubce skalního podkladu a odporovému projevu v metodě DEMP bylo toto rozhraní interpretováno jako litologická hranice mezi horninami drobového charakteru na severozápadě (odpory kolem 150 ohmm) a horninami s převahou křemenců na jihovýchodě (odpory okolo 300 ohmm). Severní a západní část zájmové plochy je odporově relativně monotónní, její centrální a jihovýchodní část vyplňuje členitá struktura zvýšených až vysokých odporů s lokálními maximy 175 – 500 ohmm. Interpretovaná „idealizovaná“ struktura o vyšších odporech je zakreslena v obrázku 10 silnými čarami. Jedná se o komplex

ortogonálních „objektů“ situovaných po obvodu nízkoodporové zóny ve tvaru písmene L. Velikost dílčích struktur je velmi malá (3 x 3 až 3 x 8 m), v západní části jsou orientovány ve směru SZ – JV, na východě ve směru SSZ – JJV, resp. ZJZ – VSV. Nejkontrastnější anomální projevy se projeví v prostoru, kde nebyla ve 20. letech 20. století prováděna archeologická sondáž, směrem k severu kontrast anomálií klesá. V kontextu dosavadních poznatků o lokalitě interpretovali Dohnal a Jáně (2004) uvedenou odporovou strukturu jako možný projev kamenných základů či destrukcí zaniklých staveb v malé hloubce. Jako problematickou označili příčinu lineární zóny zvýšených odporů, která probíhá kose k výše zmíněným strukturám, a zcela spekulativně ji interpretovali jako zpevněnou komunikaci nesoučasnou s ostatními „objekty“ (patrně mladší).

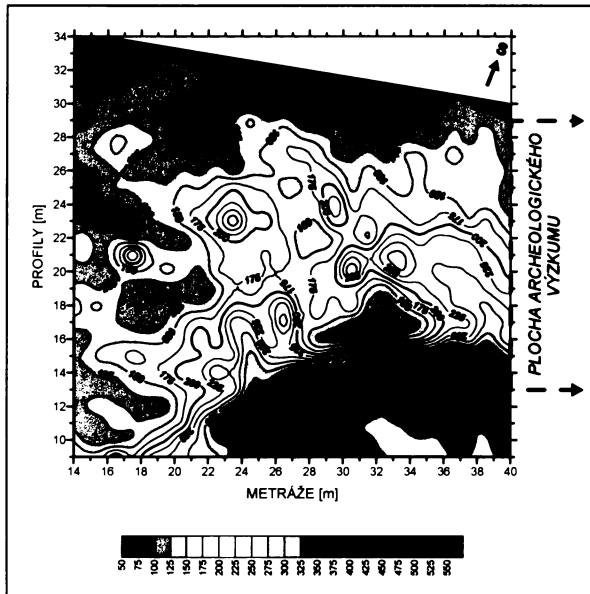
6.2.2. Dipólové elektromagnetické profilování

Nejvýraznějším rysem proměřené plochy je postupný nárůst odporů od SZ směrem k JV s maximálním gradientem v linii výše interpretovaného litologického rozhraní, které lze v tomto případě aproximovat průběhem izoliny 77 ohm (Dohnal – Jáně 2004). Hodnoty v prostoru severozápadně od tohoto rozhraní se pohybují kolem 60 ohm (jílovité droby), jihovýchodně od něj přibližně kolem 90 ohm (převaha křemenců). Vzhledem k hloubkovému dosahu metody odráží mapa na obrázku 8 primárně odporové poměry ve skalním podkladu. Mapa na obrázku 9 byla konstruována jako mapa reziduálních odporových anomálií, a to odečtením regionálního odporového pole (aproximovaného plochou třetího stupně), které odpovídá účinku skalního podloží, od primárního změřeného pole. Dohnal a Jáně (2004) zhodnotili jako překvapující, že po této „filtraci“ se v mapě reziduálních anomálií odporů podle DEMP opět objevila (byť v generalizované podobě) výše uvedená anomální oblast zvýšených odporů, vytvářející uzavřenou „polygonální“ strukturu o průměru asi 15 m. Nejvýraznější odporový projev zde vykazovalo obdélné maximum o rozměrech asi 8 x 4 m, zachycené v její jižní části. Centrální část celé struktury vyplňuje výrazné relativní odporové minimum, méně výrazné minimum odporů ve tvaru prstence pak lemují i její vnější obvod.

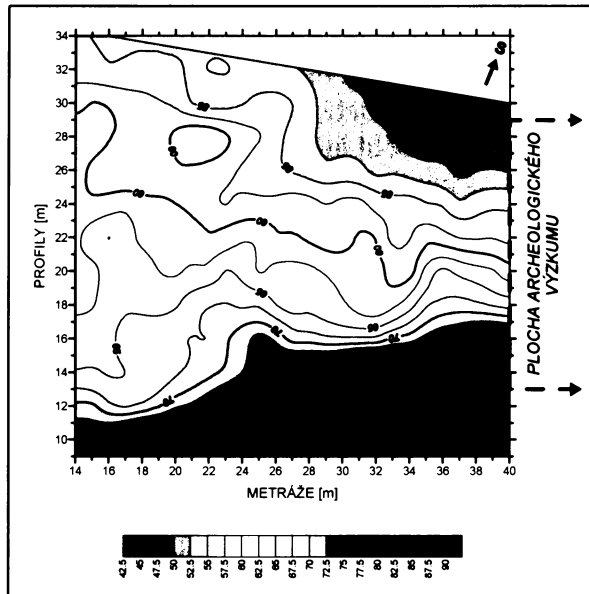
6.2.3. Souhrn

Souhrnnou představu o plošném rozmístění archeologicky významných geofyzikálních nehomogenit poskytuje strukturální schéma (Obr. 10). V tomto schématu (Dohnal a Jáně 2004) jsou šrafovaním vyznačeny zóny zvýšených odporů a kladné magnetické anomálie, dále úzká lineární zóna zvýšených odporů (čárkovaná), odporové rozhraní (zdvojená přerušovaná čára), implantovaná pozice sond z 20. let 20. století a tehdy zjištěné základy zdíva („podvaly“) a konečně interpretovaná pravoúhlá struktura zvýšených odporů.

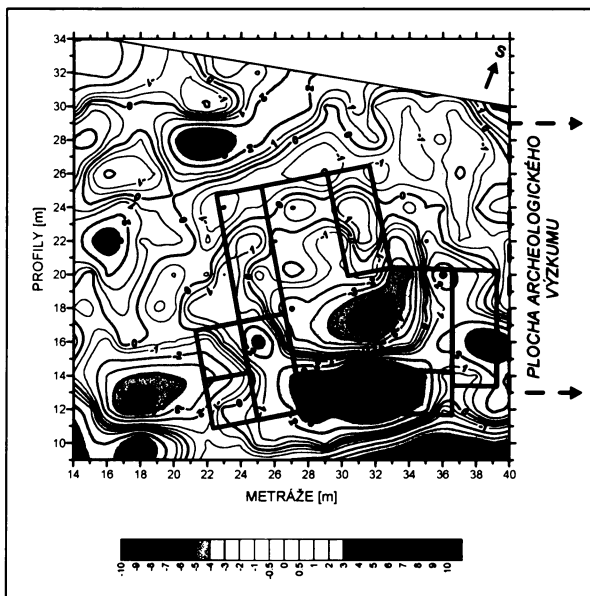
Základním poznatkem geofyzikálního průzkumu na lokalitě hradiště Hůrka - kostel sv. Kříže byla lokalizace komplexu pravoúhlých odporových anomálií, které ve svém souhrnu tvoří uzavřenou ortogonální strukturu, přiléhající k odkrytým základům kostela ze západu. Tato struktura může představovat relikty základů středověkých staveb neznámé funkce a stáří. Současná existence magnetických anomálií naznačuje přítomnost vypálených poloh, výplně materiálu o vyšší magnetické susceptibilitě a vesměs drobných železných předmětů v malé hloubce. Nejvýznamnější anomální „objekty“ zahrnují prostor o rozměrech 20 x 7 m v jižní části zkoumané mikroplochy, za klíčový považují Dohnal a Jáně (2004) přibližně čtvercový „objekt“ s nejvýraznější magnetickou anomálií, který je situovaný v jv. rohu celé odporové struktury. Diskutabilní je příčina úzké lineární zóny zvýšených odporů přetínající základní strukturu na severovýchodě.



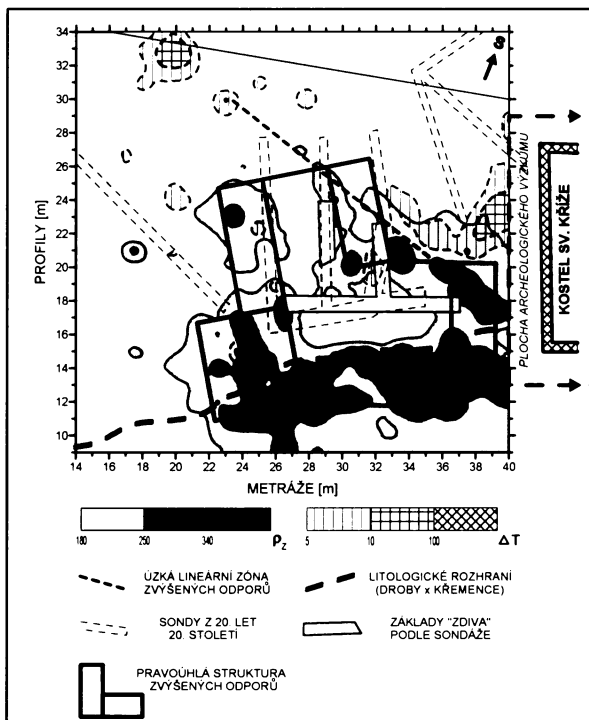
Obr. 7. Mapa izolinií odporů podle symetrického odporového profilování (Dohnal - Jáně 2004)



Obr. 8. Mapa izolinií odporů podle metody DEMP (Dohnal - Jáně 2004)



Obr. 9. Mapa reziduálních odporových anomálií podle metody DEMP (Dohnal - Jáně 2004)



Obr. 10. Strukturální schéma plošném rozmístění archeologicky významných geofyzikálních nehomogenit (Dohnal - Jáně 2004)

7. FILTRACE

V archeologii jsou geofyzikální metody velmi cenné, a to z důvodu, že umožňují nedestruktivním způsobem vymezit geofyzikální anomálie, které odpovídají archeologickým strukturám uloženým zpravidla relativně mělce pod povrchem. Pro zjištění hledaných objektů není nutné provádět odkryvy a sondážní práce, které vedou k destrukci archeologické situace (Kuna a kol. 2004). Interpretace geofyzikálních dat je však často komplikována anomáliemi vyvolanými dalšími nehomogenitami, které se rovněž vyskytují mělce pod povrchem, ale přitom nejde o projevy archeologických pozůstatků (jedná se o šумы způsobené např. litologickými nebo strukturálními změnami v pokryvu či podloží, starými výkopy, inženýrskými sítěmi, mikroreléfem terénu, kořenovým systémem atp.). Dalším omezujícím faktorem pro interpretaci odporových anomálií archeologického charakteru je například i typ použitého uspořádání elektrod při odporovém profilování, který může některé jevy mírně zkreslovat či potlačovat, jak uvádí Kampke (www.sciencedirect.com 1999). Problému se věnuje ve své práci i Hinzová (www.gemsys.ca 2005), především z pohledu praktické aplikace nových a efektivnějších filtrů, které umožňují potlačit nežádoucí vlivy a zvýraznit lineární archeologické nehomogenity. Jako dva nejběžnější filtry zmiňuje Frostův a Wienerův filtr, které vedou k potlačení nežádoucího vysokofrekvenčního šumu, aby se slabší signály vyvolané archeologickými objekty projeví výrazněji a nedošlo k jejich potlačení (uvedené filtry jsou často využívány i při „čištění“ fotografií s vysokým rozlišením). Tyto typy filtrů se v programu Surfer 8 nenacházejí, ale pro mou práci nebyly nutné, jelikož v oblasti, kde se uskutečnilo mikroměření, se vysokofrekvenční šum, který by negativně ovlivnil výsledek měření, prakticky neprojevil, jak dokládá zpráva Dohnala a Jáného (2004).

Obecným cílem filtrace geofyzikálních dat v archeologii je zvýraznění subtilních indikací archeologického původu a potlačení efektu pozadí vyvolaného geologickými a dalšími vlivy. Jak uvádí Hinzová (2005), je přetrvávajícím problémem při zpracování grafických výstupů pomocí filtrace skutečnost, že se obvykle jedná do značné míry o metodu „pokus a omyl“, která spočívá v postupném zkoušení různých typů filtrů, dokud není nalezen optimální.

7.1. Použitý software a druhy filtrů

Při své práci jsem používala program Surfer 8 patřící pod registrační známku americké společnosti Golden Software, Inc. Jedná se o grafický program určený k velmi variabilnímu zpracování dat a jejich následné vizualizaci. Má práce byla zaměřena výhradně na metody filtrování (v Menu se jedná o položku Grid/Filter). Program Surfer je pro tento účel velice vhodný, jelikož má k dispozici přes 60 přednastavených filtrů a umožňuje uživateli nastavit si filtry i individuálně.

Filtrování v programu Surfer využívá metody digitálního zpracování gridových souborů (soubory s extenzí .grd). V procesu filtrování je hodnota v každé buňce („node“) výstupního gridu počítána jako funkce hodnot vstupního gridu v této buňce a jejím okolí. Okolí tvoří pravouhlá podoblast vstupního gridu centrována kolem příslušné buňky. Filtry jsou matematicky definovány maticí složenou z lichého počtu řádků a sloupců. Čísla v jednotlivých polích matice odpovídají vahám, které jsou použity pro výpočet výstupních hodnot. Tato matice pak tvoří plošný klouzavý filtr, který je aplikován na celý vstupní grid..U defaultně nastavených filtrů se nejčastěji jedná o matici třetího řádu (3 x 3).

Obecný vzorec pro výpočet výstupní hodnoty filtrace pro matici filtru o velikosti $s \times t$ (tj. s řádků a t sloupců) lze vyjádřit ve formě (upraveno podle Surfer 8 – User’s Guide 2002):

$$z_{\text{výst}}(\mathbf{r}, \mathbf{c}) = \left[\sum_{i=0,5*(s-1)}^{0,5*(s-1)} \sum_{j=0,5*(t-1)}^{0,5*(t-1)} w(i,j) * z(\mathbf{r}+i, \mathbf{c}+j) \right] / \left[\sum_{i=0,5*(s-1)}^{0,5*(s-1)} \sum_{j=0,5*(t-1)}^{0,5*(t-1)} w(i,j) \right],$$

kde $z_{\text{výst}}(\mathbf{r}, \mathbf{c})$ je výstupní hodnota přiřazená buňce v \mathbf{r} -té řádce a \mathbf{c} -tém sloupci,
 $z(\mathbf{r}+i, \mathbf{c}+j)$ je vstupní hodnota v $\mathbf{r}+i$ -té řádce a $\mathbf{c}+j$ -tém sloupci,
 $w(i,j)$ je váha odpovídající i -té řádce a j -tému sloupci.

Program umožňuje i přednastavení počtu opakování filtrace s příslušným filtrem („Number of Passes“) a různé způsoby matematického zpracování pro okrajová data („Edge of Grid“).

Znázornění výstupních dat má také velké spektrum možností. V zásadě je můžeme rozdělit do dvou hlavních skupin, kterými jsou 2D zobrazení a 3D zobrazení. Já jsem využila 2D zobrazení prostřednictvím mapy izolinií. Tento druh map umožňuje vytvořit velmi přehledný grafický výstup. A ani tady nejsou nijak citelně omezeny možnosti úprav, takže je možné vytvořit výstup odpovídající požadavkům uživatele.

Při zpracování dat byly využity následující základní skupiny filtrů.

7.1.1 Low-pass filtry

Nízkopásmové filtry jsou vhodné zejména k vyhlazení grafického výstupu. Skupina těchto filtrů potlačuje vysoké frekvence (vysokofrekvenční šum) a naproti tomu zvýrazňuje nízké frekvence. Tyto filtry se označují jako vyhlazovací („smoothing“ nebo „blurring“). Mnohonásobné opakování filtrace pomocí low-pass filtru vede k zobrazení regionálních trendů.

7.1.2. High-pass filtry

Tento druh filtrů má opačný efekt od výše zmíněných Low-pass filtrů. Jedná se o zaostrující či zvýrazňující („sharpening“ nebo „crispening“) filtry. Při filtrování propouštějí vysoké frekvence. Pracují na principu potlačení „plošného“ nízkofrekvenčního pozadí a zvýraznění lokálních anomálních projevů. Tudíž se jedná o zvýraznění lokálních minim a maxim.

7.1.3. Filtry řádu 1. derivace

Tyto filtry slouží k detekování horizontálních a vertikálních rozhraní. Podobný efekt umožňuje použití položky First Derivative v podmenu Grid/Calculus/Directional Derivative nebo Gradient Directional Filters a Embossing Filters v podmenu Grid/Filters.

7.1.4. Filtry řádu 2. derivace

Jedná se o filtry zdůrazňující lokální struktury typu elevací a depresí, tj. filtry umožňující lepší vizualizaci lineárních anomálních struktur. Selektivní zvýraznění struktur určitého směru umožňuje analogicky položka Second Derivative v podmenu Grid/Calculus/Directional Derivative.

7.2. Metodika použité filtrace

7.2.1. Primární zpracování dat

Jako vstupní data pro účely této práce byly použity hodnoty zdánlivých měrných odporů podle symetrického odporového profilování s rozstupem elektrod A 1 M1 N 1 B, změřené v síti 1 x 1 m (Dohnal a Jáně 2004). Tato data jsem zgridovala pomocí gridovací metody Kriging do sítě 0,25 x 0,25 m. Získaný gridový soubor byl vstupem pro další stupeň zpracování.

7.2.2. Odstranění odporového (litologického) rozhraní

Druhým krokem zpracování bylo odstranění výrazného odporového rozhraní, které probíhá jižní částí plochy ve směru zhruba JZ – SV. Vzhledem k malé hloubce skalního podkladu a geologické stavbě lokality byla tato výrazná odporová nehomogenita interpretována jako litologické rozhraní mezi vodivějšími drobnými na SZ a nevodivými křemenci na JV (Dohnal a Jáně 2004). Detailní průběh hranice je dán maximálními hodnotami odporového gradientu. Pro přesnou lokalizaci jsem použila filtry z podmenu Grid/Filtr/Order 1 Derivative Filters, konkrétně Prewitt Column Detector, Sobel Column Detector a FreiChen Column Detektor, a Gradient Directional Filter South ze skupiny směrových filtrů. Po lokalizaci rozhraní byly spočítány průměrné hodnoty odporů v pásu o šířce 3 metry na JZ a SV od vymezené hranice a o rozdíl těchto hodnot (125 ohmm) byly sníženy primárně naměřené hodnoty na JZ. Tím se podařilo efekt litologického rozhraní prakticky eliminovat. Pak bylo provedeno další gridování (opravených primárních dat) a nový gridový soubor se stal vstupem pro následující filtrace.

7.2.3. Použití Low-pass filtrů – vyhlazení dat

Ze souboru Low-pass filtrů jsem při filtrování použila následující filtry: Gaussovský filtr (a), filtr 5-node + Averaging (b), filtr 9-node + Averaging, který má v této skupině filtrů největší vyhlazující efekt (c) a konečně filtr Low-pass 3, který je v porovnání s předchozím nejkontrastnější (d). Všechny tyto filtry jsou definovány maticemi o velikosti 3 x 3 s následujícími vahami:

a)

1	2	1
2	4	2
1	2	1

b)

0	1	0
1	2	1
0	1	0

c)

1	1	1
1	1	1
1	1	1

d)

1	1	1
1	12	1
1	1	1

7.2.4. Aplikace High-pass filtrů – zvýraznění lokálních extrémů

Ze skupiny High-pass filtrů byly použity následující filtry (všechny s maticí třetího řádu): Mean Removal (a), High-pass 1 (b), High-pass 2 (c) a High-pass 3 (d) s následujícími vahami:

a)

-1	-1	-1
-1	-9	-1
-1	-1	-1

b)

0	-1	0
-1	5	-1
0	-1	0

c)

1	-2	1
-2	5	-2
1	-2	1

d)

0	-1	0
-1	20	-1
0	-1	0

7.2.5. Využití filtrů řádu druhé derivace – detekce lokálních extrémů

Z řady filtrů řádu druhé derivace s maticí 3 x 3 jsem aplikovala Laplaceův filtr 1 (a), Laplaceův filtr 2 (b) a Laplaceův filtr 4 (c) s vahami:

a)

0	-1	0
-1	4	-1
0	-1	0

b)

-1	-1	-1
-1	8	-1
-1	-1	-1

c)

-1	0	-1
0	4	0
-1	0	-1

Posledním použitým filtrem z těchto vysokopásmových filtrů byl filtr Difference of Gaussian, který má matici o velikosti 7 x 7 a následující váhy:

0	0	-1	-1	-1	0	0
0	-2	-3	-3	-3	-2	0
-1	-3	5	5	5	-3	-1
-1	-3	5	16	5	-3	-1
-1	-3	5	5	5	-3	-1
0	-2	-3	-3	-3	-2	0
0	0	-1	-1	-1	0	0

7.2.6. Další použité filtry

Kromě uvedených „standardních“ filtrů bylo pro úpravu dat použito ještě několik dalších.

Prvním byl filtr, který pracovně označuji jako „12521“ a který využívají některá geofyzikální pracoviště při zpracování detailních plošných magnetometrických měření (ústní sdělení – Dohnal 2009). Jedná se o plošný klouzavý filtr, jehož matice o velikosti 5 x 5 má váhy:

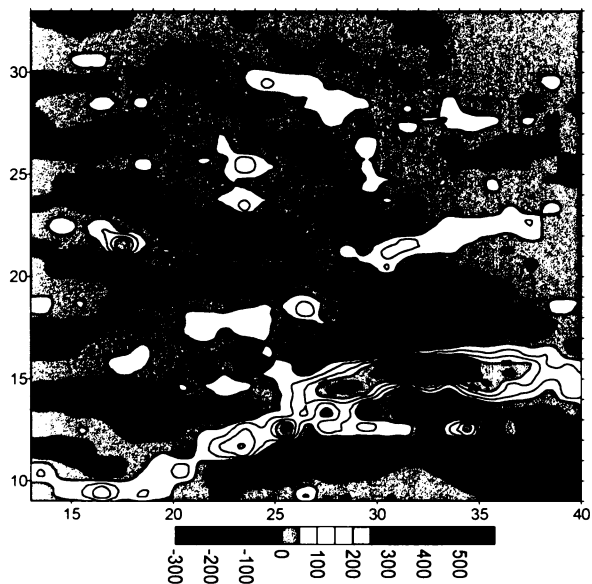
0	0	1	0	0
0	0	2	0	0
1	2	5	2	1
0	0	2	0	0
0	0	1	0	0

Druhým byl filtr, který doporučuje Kampke (1999) pro „zaostření obrazu“ (focussed imaging) u detailních profilových odporových měření. Tento filtr není plošný, používá se pro předběžné filtrování dat měřených různými typy uspořádání elektrod. Pro Wennerovo uspořádání (A 1 M 1 N 1 B) s krokem měření identickým se vzdáleností elektrod (1 m) spočívá ve výpočtu průměrné hodnoty ze dvou sousedních měřených bodů. Průměry jsou přiřazeny metrůžce ve středu mezi oběma body a slouží jako vstup pro další plošné zpracování. Tento filtr jsem pracovně označila jako „kampke“.

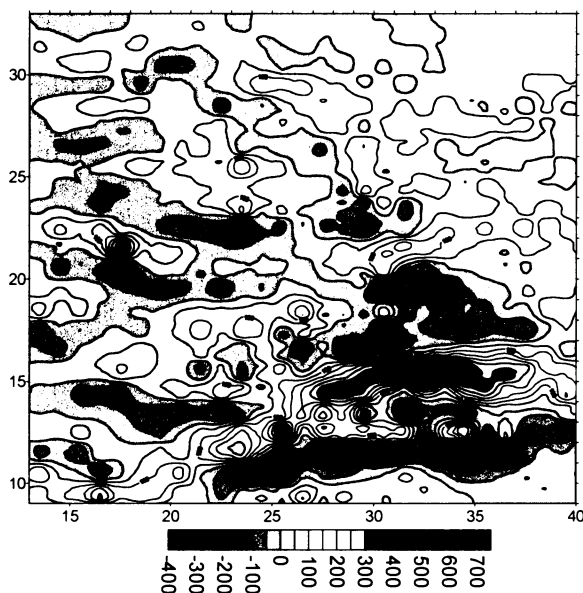
V poslední fázi zpracování byly zkoušeny různé kombinace jednotlivých filtrů. Jako subjektivně optimální se ukázala kombinace filtru „12521“ (s vahou 2) s gaussovsky (low-pass) vyhlazeným filtrem řádu 2. derivace „Difference of Gaussian 7 x 7“ (s vahou 1).

8. VÝSLEDKY - GRAFICKÉ VÝSTUPY

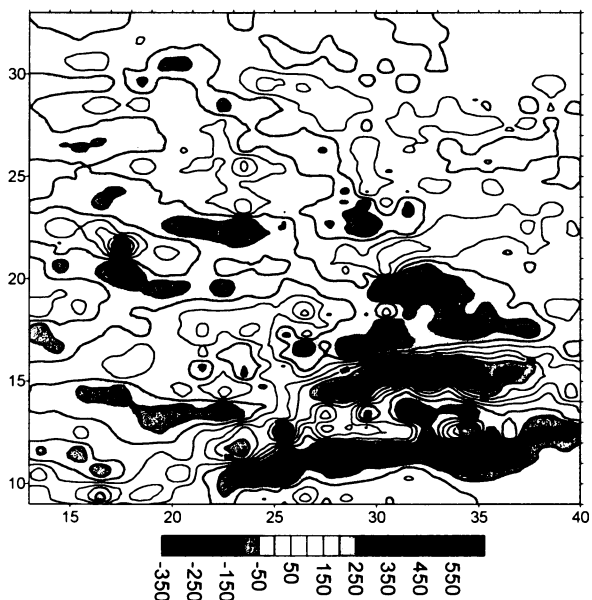
Filtry řádu první derivace („Column Detector“) a ukázka směrového filtru („South“) - použité pro optické zvýraznění litologického rozhraní směru JZ - SV. Všechny filtry vykreslily průběh rozhraní ve formě téměř spojitého lineárního maxima v jižní části mikroplochy.



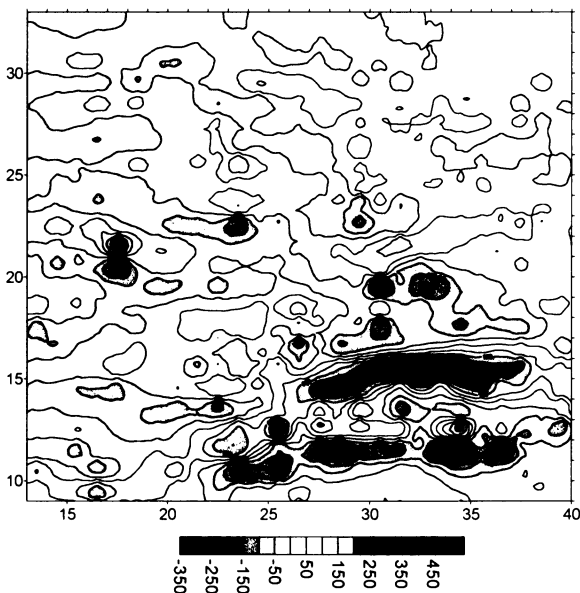
Obr. 11. Filtr Prewitt Column Detector



Obr. 12. Filtr Sobel Column Detector

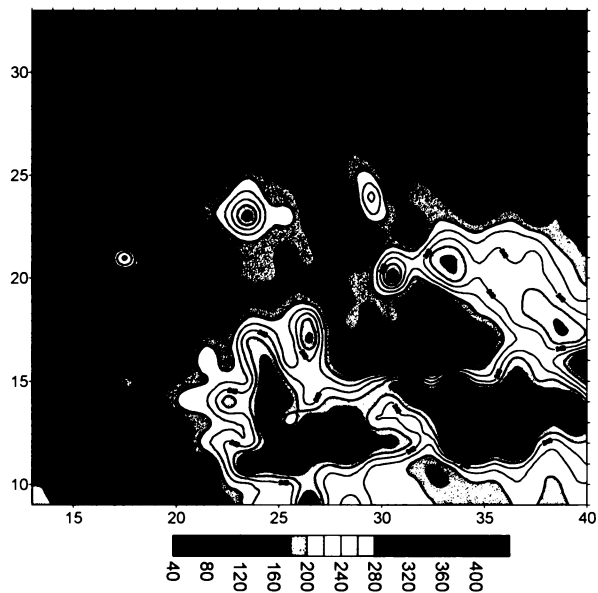


Obr. 13. FreiChen Column Detector

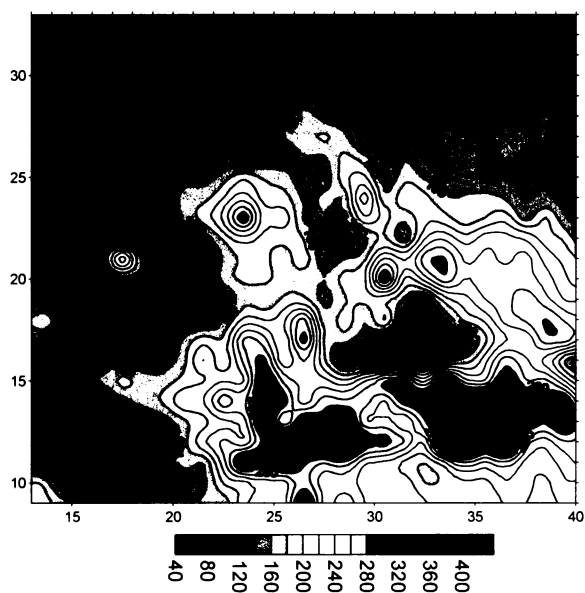


Obr. 14. Gradient Directional filter (South)

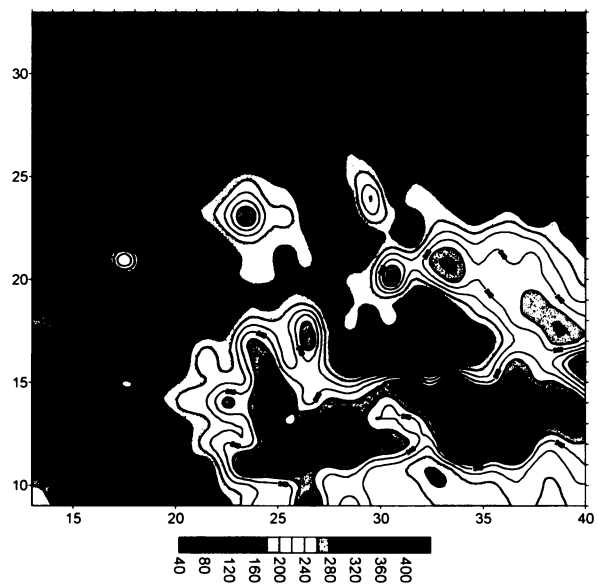
Low-pass filtry (vstupní data opravená o efekt odporového rozhraní) - použité za účelem vyhlazení mapy. Všechny použité filtry vedly prakticky k identickým grafickým výstupům.



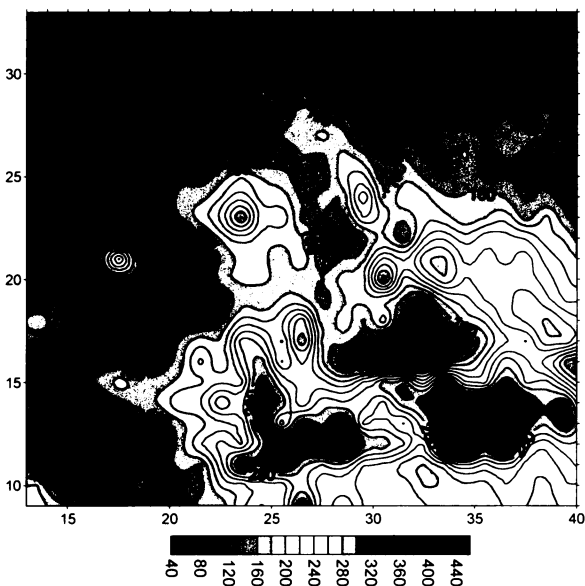
Obr. 15. Gaussův filtr



Obr. 16. 5-node + Averaging filtr

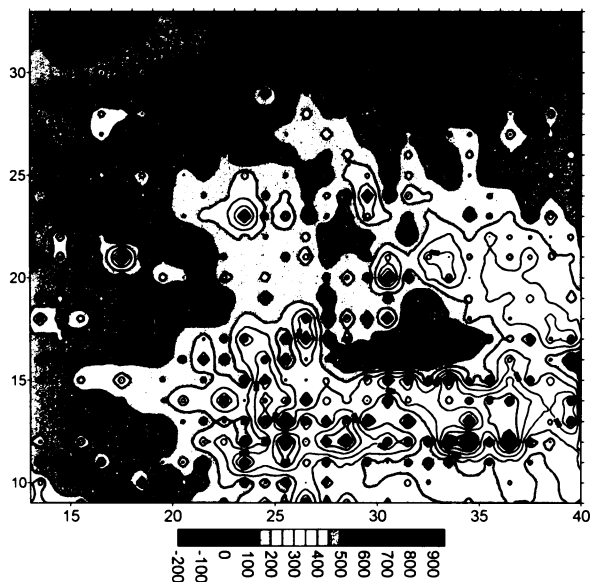


Obr. 17. 9-node + Averaging filtr

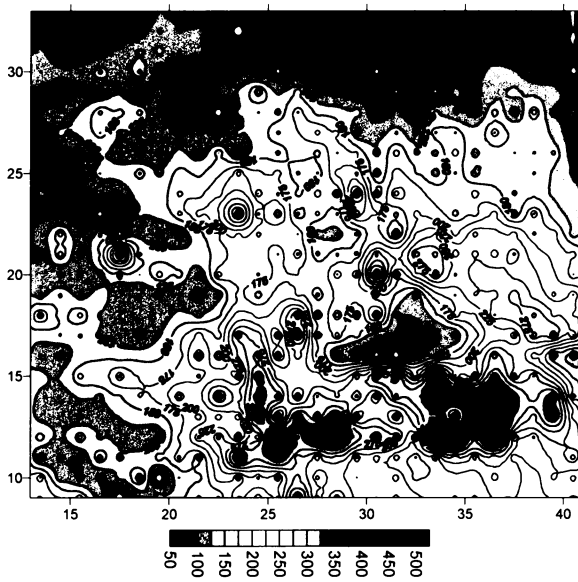


Obr. 18. Low-pass 3 filtr

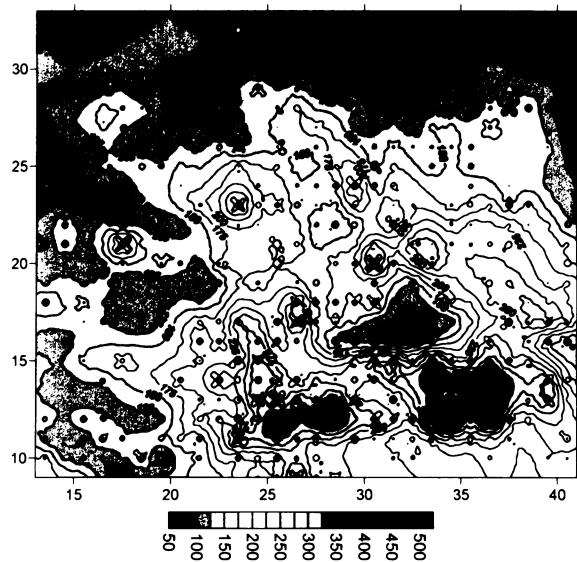
High-pass filtry (vstupní data opravená o efekt odporového rozhraní) - použité pro zvýraznění lokálních maxim a minim. V prvních třech případech vede použití filtru k „rozbití“ mapy, filtr High-pass 3 má vzhledem k velké váze v centru matice minimální efekt.



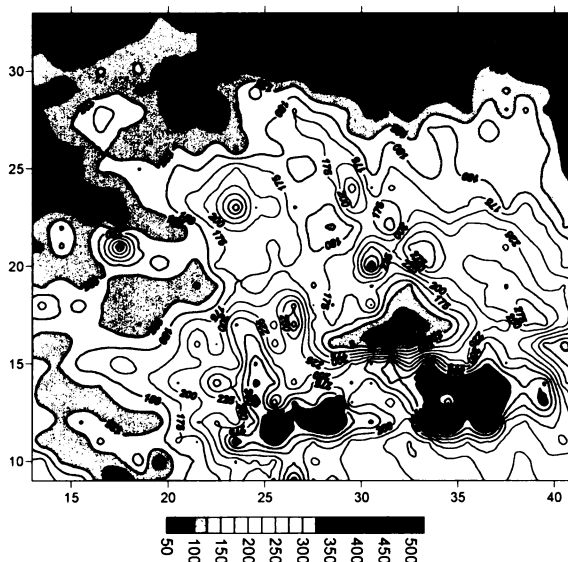
Obr. 19. Mean Removal filtr



Obr. 20. High-pass 1 filtr

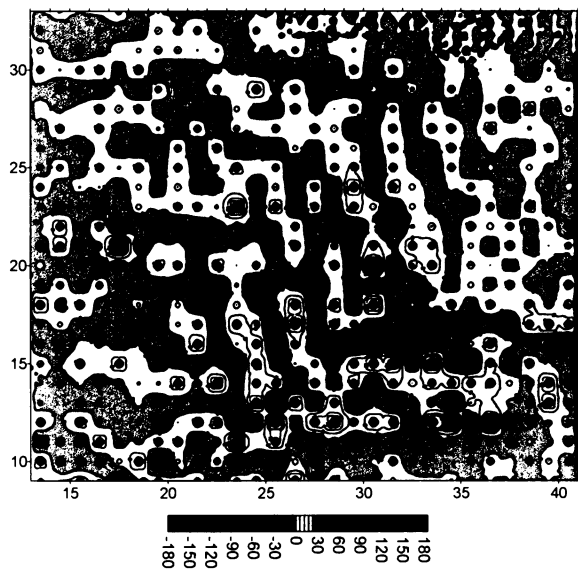


Obr. 21. High-pass 2 filtr

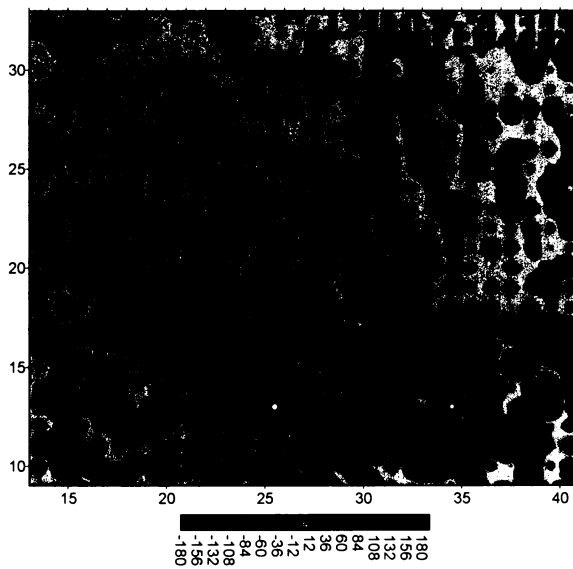


Obr. 22. High-pass 3 filtr

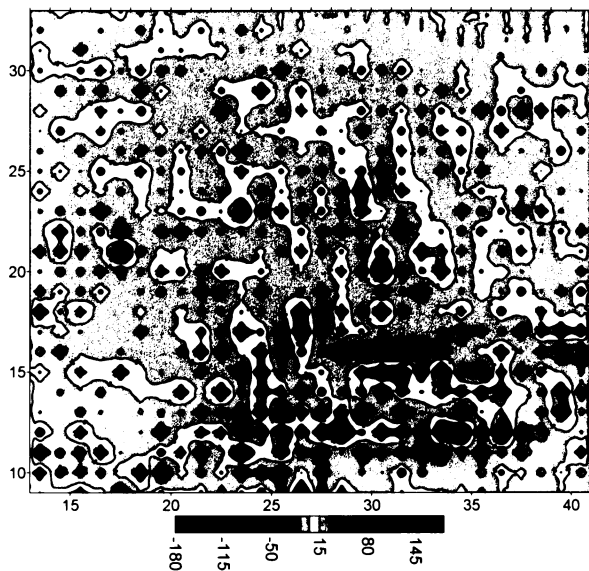
Filtry řádu 2. derivace (vstupní data opravená o efekt odporového rozhraní) – použité za účelem detekce lokálních lineárních extrémů. Výstupy filtrů typu „Laplacian“ charakterizuje stočení anomálních struktur do směrů os x a y , nejlepší výstup poskytl filtr „Difference of Gaussian 7x7“.



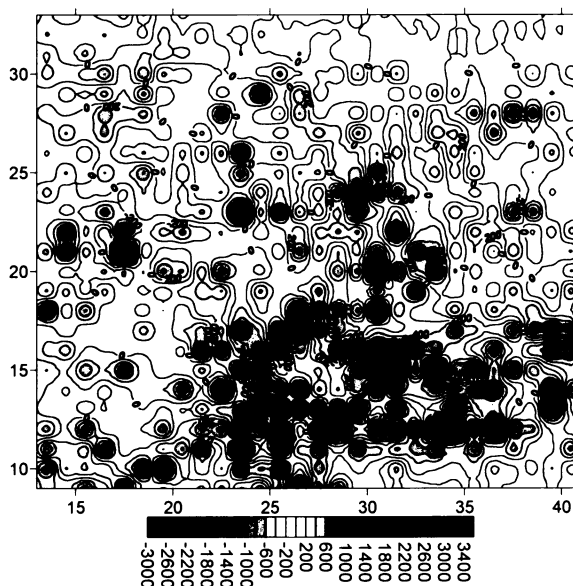
Obr. 23. Laplacian 1



Obr. 24. Laplacian 2

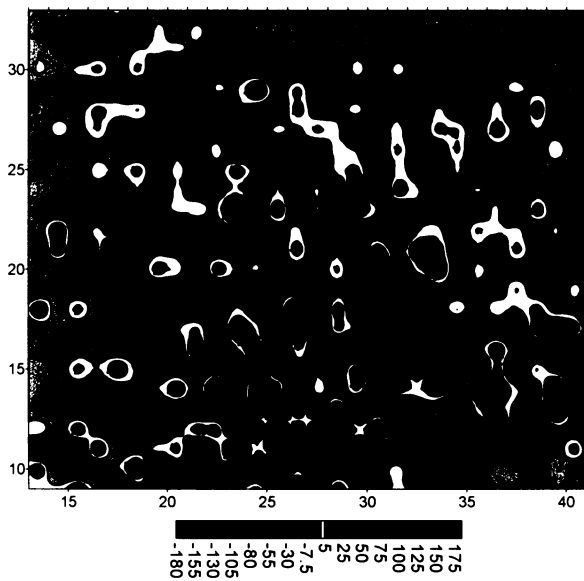


Obr. 25. Laplacian 4

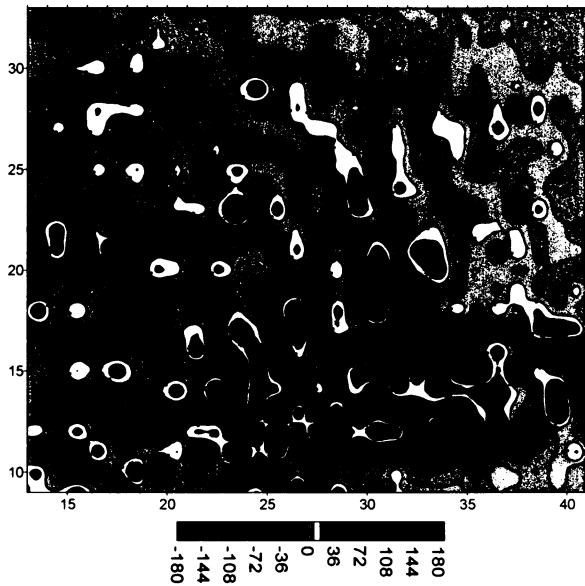


Obr. 26. Difference of Gaussian 7x7

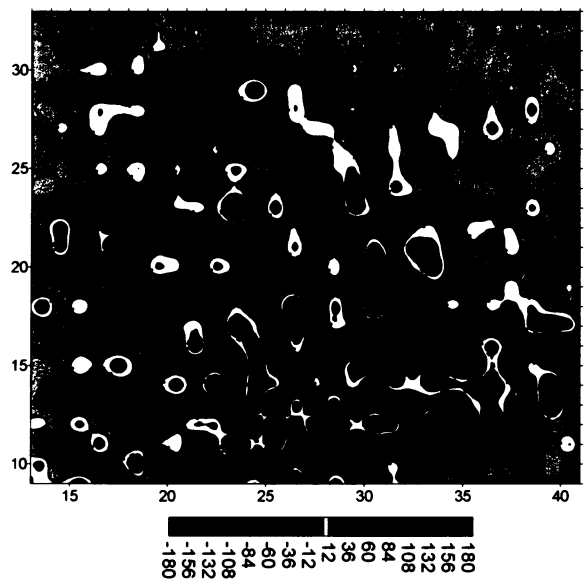
Grafické výstupy použitých filtrů řádu 2.derivace vyhlazených Gaussovým filtrem (3x, resp. 9x). Jednoznačně „nejčitelnější“ obraz odpovídá opět filtru „Difference of Gaussian 7x7“.



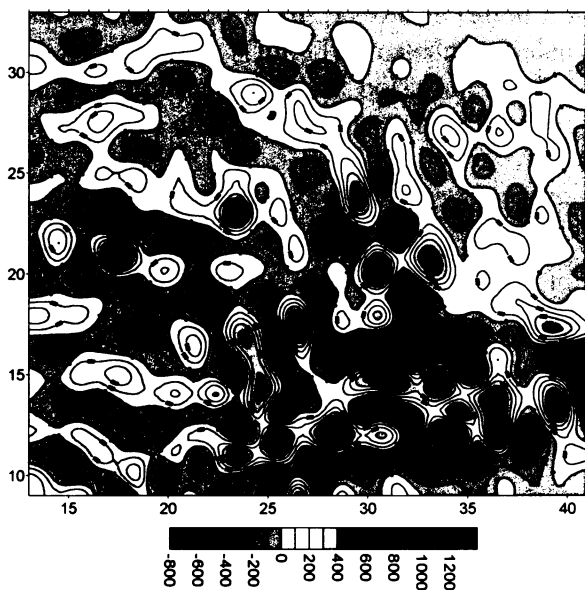
Obr. 27. Laplacian 1 + trojnásobný Gaussův filtr



Obr. 28. Laplacian 2 + trojnásobný Gaussův filtr

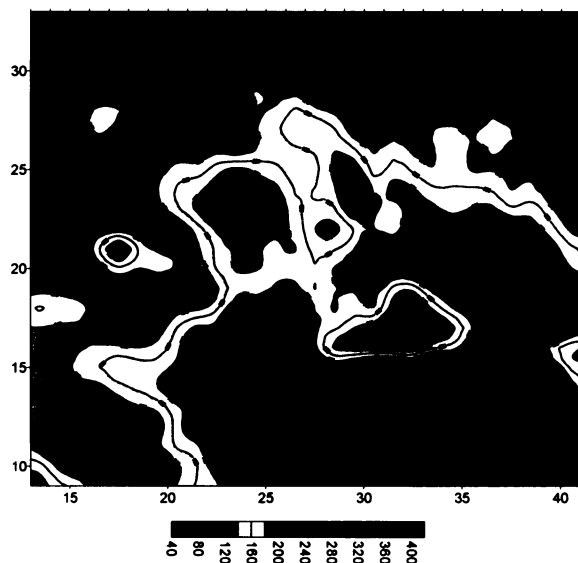


Obr. 29. Laplacian 4 + trojnásobný Gaussův filtr

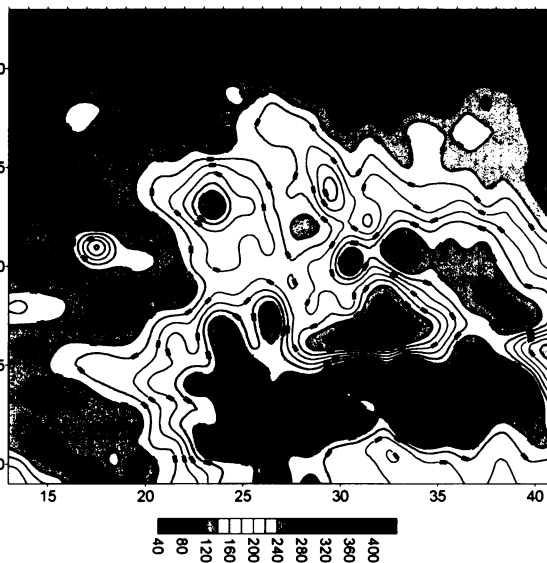


Obr. 30. Difference of Gaussian s devítinásobným použitím Gaussova filtru pro vyhlazení výstupu

Výsledky filtrování dat pomocí ručně nastaveného filtru „12521“

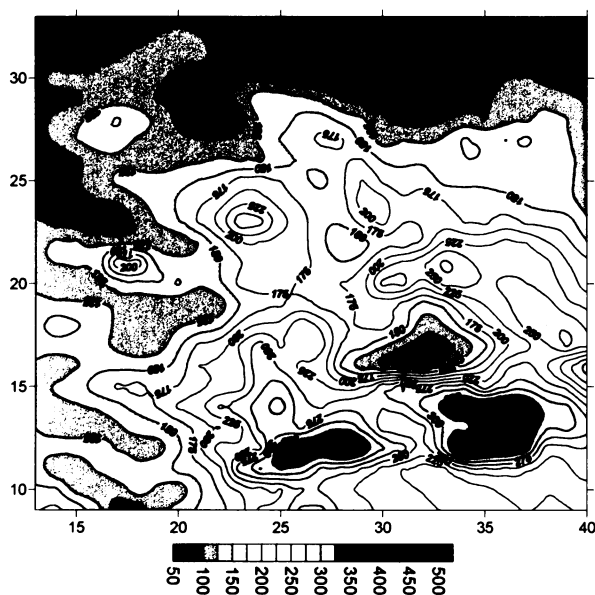


Obr. 31. Filtr s pracovním označením "12521"

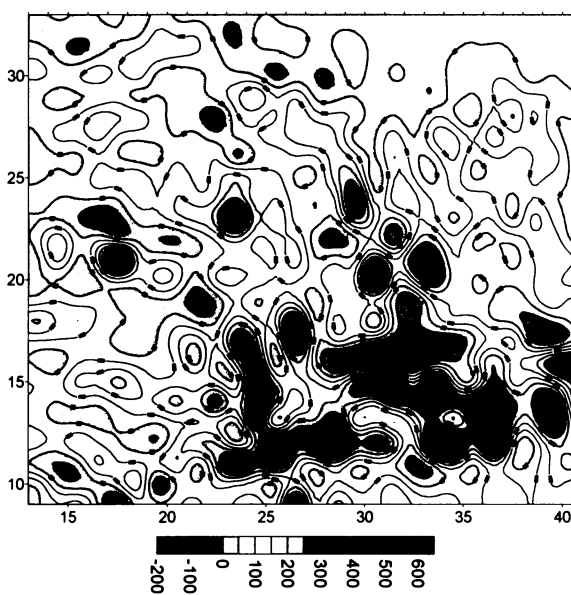


Obr. 32. Filtr "12521" aplikovaný dvakrát v řadě

Výsledky filtrování dat pomocí filtru „kampke“ (Obr. 32) a optimalizovaného filtru, sestaveného jako kombinace gaussovsky (low-pass) vyhlazeného filtru „12521“ s vahou 2 a filtru řádu 2. derivace „Difference of Gaussian 7 x 7“ s vahou 1 (Obr.33). Posledně uvedený filtr se ukázal z hlediska použitých vstupních dat jako optimální, neboť poskytuje opticky „nejčitelnější“ grafický výstup, který je současně v souladu s charakterem původních dat.



Obr. 33. Filtr "kampke"




Obr. 34. Kombinace filtru Difference of Gaussian 7 x 7 (váha 1) s filtrem "12521" (váha 2)

9. ZÁVĚR

Práci s tématem filtrace geofyzikálních dat z měření na archeologické lokalitě jsem si vybrala proto, že kromě rešeršní části zahrnovala i zpracování konkrétního měření, a to na lokalitě „hradiště Hůrka – kostel sv. Kříže“ u Starého Plzně. V první části práce jsem se pokusila shrnout dostupné geologické, geofyzikální, historické a archeologické údaje o lokalitě. V druhé části jsem provedla zpracování odporových dat pomocí různých typů filtrů (low-pass, high-pass, 1. derivace, 2. derivace a další) a zdokumentovala výsledky formou grafických výstupů. Cílem bylo stanovit takovou kombinaci filtrů, která ve výstupu zvýrazní lineární nehomogenity způsobené archeologickými objekty a potlačí vliv geologických efektů. Z výsledků vyplývá, že pro detekci a odstranění vlivu odporového rozhraní lze využít řadu filtrů typu 1. derivace, zatímco pro zvýraznění lineárních odporových extrémů, způsobených archeologickými objekty, nejsou výsledky zcela jednoznačné, přestože byla vyzkoušena řada variant a kombinací filtrů, z nichž byly do práce uvedeny jen ty podstatné. Jako optimální se pro daný účel projevil filtr Difference of Gaussian 7x7 ze skupiny filtrů typu 2. derivace a jeho kombinace s dalšími filtry. Uplatnění tohoto filtru umožnilo zvýraznění a lepší čitelnost grafického výstupu.

Praha, srpen 2009
Drahomíra Böhmová


.....

10. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- Bárta V., 1967. Geofyzikální měření na lokalitě Letkov. MS Geofond Praha (P 19122).
- Dohnal J., Jáně Z., Kněz J., Zima L., 2002. Geofyzikální průzkum pro archeologické účely na lokalitě Starý Plzenec - NKP Hradiště Hůrka: kostel sv. Vavřince. MS, oddělení užité geofyziky PřF UK Praha, Praha.
- Dohnal J., Jáně Z., 2004. Geofyzikální průzkum pro archeologické účely na lokalitě Starý Plzenec - NKP hradiště Hůrka, kostel sv. Kříže. MS, oddělení užité geofyziky PřF UK Praha, Praha.
- Friedl A., 1976. Tisíc let Staré Plzně promlouvá k dnešku. In: Tisíc let Staré Plzně – Sborník Západočeského muzea v Plzni – Historie. Plzeň.
- Hašek V., Měřínský Z., 1991. Geofyzikální metody v archeologii na Moravě. Muzejní a vlastivědná společnost, Brno.
- Havlíček V. & Šnajdr M., 1957. Stratigrafický a tektonický výzkum středočeského ordoviku. Výroční zpráva za r. 1956. MS, Česká geologická služba – Geofond Praha. (P 9239).
- Hinz, E., 2005. Gradiometer Image Processing for Archeology. Dallas, dostupné z <http://www.gemsys.ca/Students/2005/Hinz%20-%20Gradiometer%20Essay%202005.pdf>, 13.5.2009.
- Kampke A., 1999. Focused imaging of electrical resistivity data in archaeological prospecting. Journal of Applied Geophysics, vol. 41, Issues 2-3, dostupné z www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6VFC-3W37XSH-7&_user=1490772&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&_docanchor=&view=c&_searchStrId=974435037&_rerunOrigin=google&_acct=C000053052&_version=1&_urlVersion=0&_userid=1490772&md5=4c4529bac1835576a69d8b23f5ecc17c, 23.3.2009.
- Karous M., 1989. Geoelektrické metody průzkumu. SNTL/ALFA, Praha.
- Kodera P., Nováček K., Široký R., 2002. Starý Plzenec: kostely sv. Vavřince a sv. Kříže. ZIP o.p.s., Plzeň.
- Kuna M., Beneš J., Dreslerová D., Gojda M., Hrubý P., Křivánek R., Majer A., Prach K., Tomášek M. (dále přispěli Dobeš M., Kolbinger D., Květina P., Matoušek V.), 2004. Nedestruktivní archeologie: Teorie, metody a cíle. Academia, Praha.
- Lábek L., 1925. Hůrka v Plzenci, bývalý hrad Plzeň. Plzeň.
- Manová M., Šalanský K., 1997. Geofyzikální poměry. In: Vysvětlivky k souboru geologických a ekologických map přírodních zdrojů, List 12 – 33 Plzeň, 1 : 50 000. LABEL spol. s.r.o., Kutná Hora.
- Manová M., Šalanský K., 1997a. Geofyzikální mapa ČR – mapa indikací a interpretací 1 : 50 000, list 12 – 33 Plzeň. LABEL spol. s.r.o., Kutná Hora.

Mareš S., Karous M., Landa I., Mazáč O., Müller K., Müllerová J., 1983. Geofyzikální metody v hydrogeologii a inženýrské geologii. SNTL/ALFA, Praha.

Mareš S., Hrách S., Karous M., Marek F., Matolín M., Skopec J., 1990. Úvod do užité geofyziky. SNTL, Praha.

Mašek J. s kolektivem autorů, 1987. Vysvětlivky k základní geologické mapě ČSR 1 : 25 000, list 12 – 33 Plzeň. Ústřední ústav geologický, Praha.

Mašek J., Straka J., 1994. Geologická mapa ČR 1 : 50 000, list 22 – 33 Plzeň. LABEL spol. s.r.o., Kutná Hora.

Mašek M., Straka J., Havlíček V., 1997. Geologie území. In: Barnet I., Burda J., Havlíček V., Jinochová J., Lochmann Z., Manová M., Mašek J., Mrázek P., Müller V., Nekovařík Č., Straka J., Šalanský K.: Vysvětlivky k souboru geologických a účelových map přírodních zdrojů, 1 : 50 000, list 12 – 33 Plzeň. Český geologický ústav, Praha.

Mašek J., Straka J., 1997a. Geologická mapa ČR 1 : 50 000, list 22 – 11 Přeštice. LABEL spol. s.r.o., Kutná Hora.

Mašek J., 2001. Geologie území. In: Hrazdíra P., Jinochová J., Majer V., Manová M., Mašek J., Müller V., Rudolský J., Šalanský K.: Vysvětlivky k souboru geologických a účelových map přírodních zdrojů, list 12 – 11 Přeštice 1 : 50 000. Český geologický ústav, Praha.

První vojenské (josefínské) mapování, 1763 – 1754. List 156. Laboratoř geoinformatiky, http://oldmaps.geolab.cz/map_viewer.pl?z_height=330&lang=cs&z_width=700&z_newwin=1&map_root=1vm&map_region=ce&map_list=c156, 14.4.2009.

První vojenské (josefínské) mapování, 1763 – 1754. List 157. Laboratoř geoinformatiky, http://oldmaps.geolab.cz/map_viewer.pl?z_height=330&lang=cs&z_width=700&z_newwin=1&map_root=1vm&map_region=ce&map_list=c157, 14.4.2009.

Surfer8 - User's Guide (2002). Golden Software, Inc., Golden, Colorado.

Program Surfer 8, Golden Software, Inc., Golden.

Široký R., Šormová P., 2004. Starý Plzenec: národní kulturní památka Hradiště Hůrka – Projekt záchrany. Město Starý Plzenec/Zip o.p.s., Plzeň.

Široký R., Dohnal J., Jáně Z., 2005. Starý Plzenec, hradiště Hůrka: kostel sv. Kříže: nálezová zpráva o záchranném archeologickém výzkumu, 1. etapa: projekt záchrany pozůstatků kostela. ZIP o.p.s., Plzeň.

Zeměměřický úřad, 2007. Základní mapa ČR 1 : 10 000, list 12 – 33 – 23. Český úřad zeměměřický a katastrální.