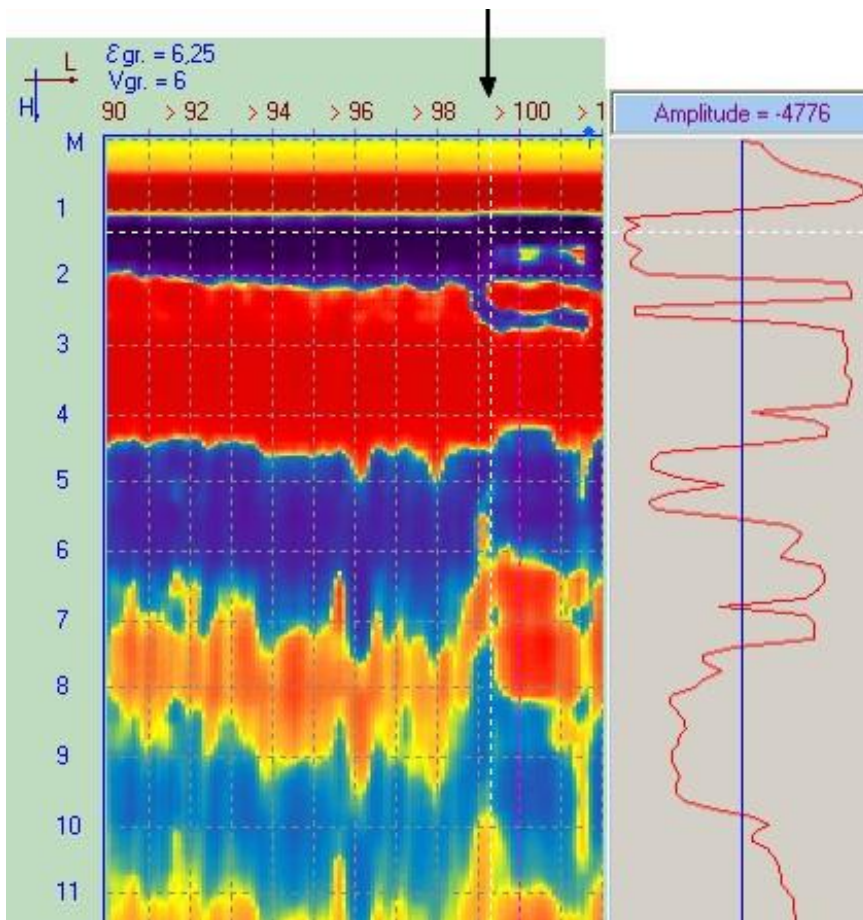


Jak georadar měří a co vše je možné z radarogramu vyčíst.

Georadar má vysílač impulzů a přijímač. V okamžiku vyslání impulsu do půdy přijímač okamžitě přijímaná data začne ukládat tak, jak přicházejí. Odrazem pulzu je souvislá vlna, která mění fázi a velikost amplitudy. Vlna mění fázi (barvu) pouze pokud prochází prostředím, kde se mění permitivita, vodivost nebo obojí najednou. Z tvaru této přicházející křivky lze usoudit, jakým prostředím vlna prochází, zda rozhraní vlastností je náhlé (skála-vzduch) nebo pozvolné (suchý písek-mokvý písek). Tuto vlnu si můžeme zobrazit v jakémkoliv bodě měření, kladná amplituda je červená, záporná modrá, kolem středu je žlutá barva.



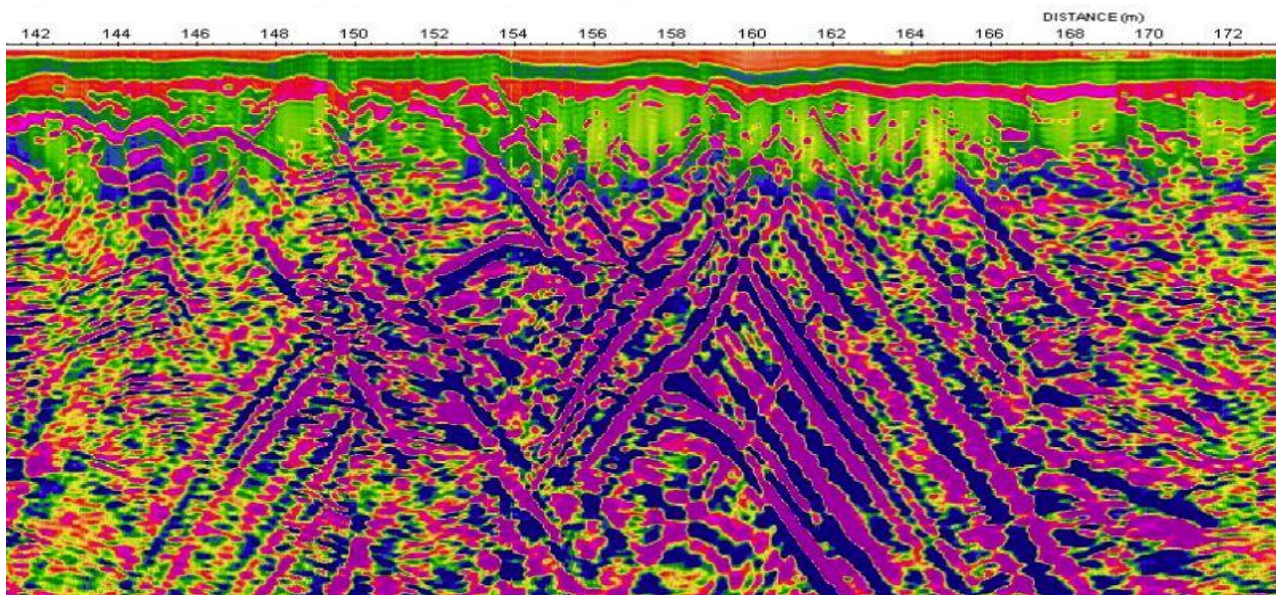
Záznam této vlny je vlastně jeden velmi úzký svislý sloupeček (označeno černou šipkou), převedený do barev, a z těchto sloupečků se skládá celý radarogram. Další parametr, který dokážeme změřit je čas. Zdálo by se poměrně jednoduché zjistit hloubku, ve které nějaké objekty leží. **Problém je v tom, že rychlost vlny se mění v závislosti na materiálu**, kterým vlna prochází. V řadě měření je situace usnadněna tím, že jednotlivé vrstvy jsou uloženy vodorovně. Pokud takové souvrství najdeme, je jednoduché změřit v této oblasti rychlosti šíření v jednotlivých vrstvách (lze určit i jednotlivé permitivity vrstev) a tím se dopracovat k hloubce hledaných objektů. Nemůžeme ale změřit tyto vlastnosti v nejspodnější vrstvě, paprsek tam nemá možnost odrazit se od další rovné vrstvy. Pak se tato rychlost šíření musí odhadnout z tabulek pro daný typ horniny v tomto místě. Pokud to není možné, musí se provést vrt. Ten nám samozřejmě určí také tloušťky všech horních vrstev v místě vrtu. Pokud horizontální vrstvy v radarogramu nejsou, dosazuje se tabulková hodnota rychlosti vlny pro daný materiál.

Měříme-li nějakou rovnou geologickou vrstvu např. pod 5m vrstvou navážky, ve které se mění často rychlost šíření vlny - **nebude z těchto důvodů spodní vrstva nikdy zobrazena jako rovná**. V horním obrázku je vidět, jak je červená vrstva na 100m v hloubce 4,5m pod objektem posunuta nahoru stejně jako další vrstvy dole, to znamená, že v horní oblasti 1-4m došlo ke zrychlení šíření

vlny - prostor je např. sušší než okolí. Pokud by byla vrstva vychýlena dolů, je to důsledkem prodloužení doby průchodu materiálem (např. mokrá hlína v suchém písku). Této vlastnosti se nechá využít při hledání dutin, tam vlna zvýší rychlost asi 3x.

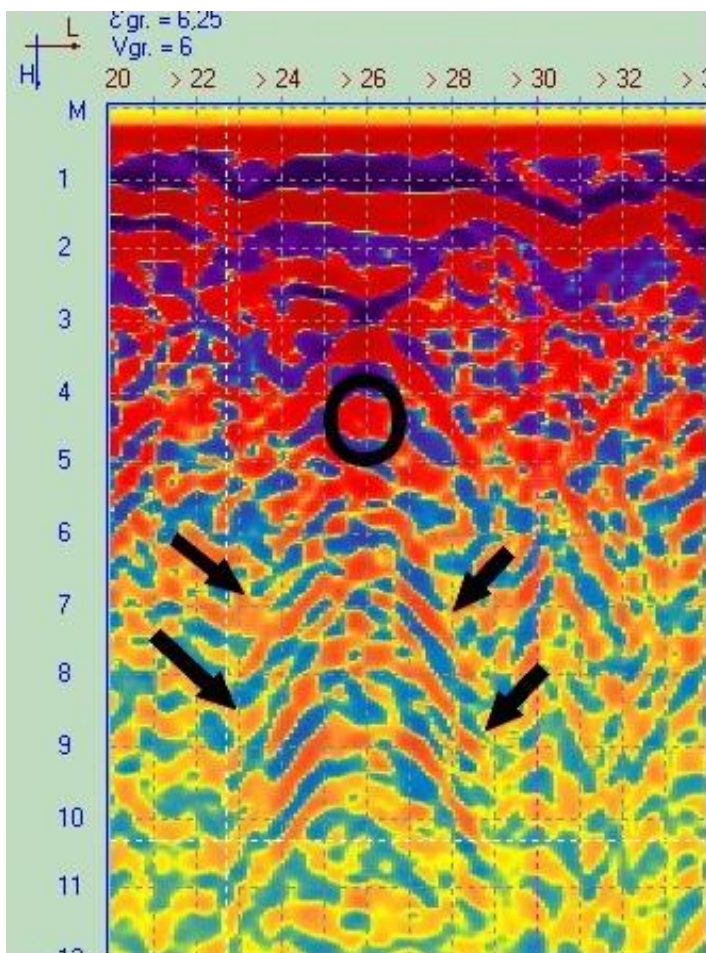
Další úskalí ve vyhodnocení radarogramu je v tom, že my vlnu zaznamenáváme v obrázku jako svislý sloupec bodů kolmo pod georadarem, ale vlna se v zemi šíří jako rozšiřující se kužel s polokulovým vrchlíkem a my zaznamenáváme **změny v celém vrchlíku tohoto kuželu jako jeden bod (v určitém čase)**. Není možné pro měření v zemi používat takové směrové antény, jako pro zaměřování polohy letadel, které mají mnohem užší vyzařovací diagram. Výhodou v našem případě je, že anténami georadaru můžeme po zemi posouvat a tak zjistit, jestli se k hledanému objektu přibližujeme nebo se od něj vzdalujeme, ale to jestli je ten objekt vlevo nebo vpravo od směru pohybu měření, nedokážeme určit. Nezbývá než provést několik rovnoběžných měření, nebo udělat jedno měření kolmo na původní směr v místě nalezené anomálie.

Protože dokážeme vyhodnotit pouze změny vlastností materiálu v určité ploše, ve výsledném obrázku nikdy nenajdeme např. hledanou štolu jako ostře ohraničený obdélník. Velmi dobře uvidíme strop, někdy náznak stěn a málokdy dno. Navíc obraz pod stropem štoly se zdeformuje, prohne se směrem nahoru, protože se nám po průchodu stropem ve vzduchu několikrát zrychlí šíření vlny a ke dnu štoly vlna vzduchem dorazí mnohem dříve než skálou ke skále, která je v úrovni tohoto dna. To nám ale zase pomůže takový objekt lépe zviditelnit a někdy určit i výšku dutiny. Za určitých podmínek se vlna může odrážet i mezi dnem a stropem, pak vzniká řada rezonančních odrazů, které se časově zapisují pod první odraz od stropu jako sloupec odrazů směrem dolů. Musíme mít také na paměti, že vlna se odrazí zpět k přijímači pouze u objektů vodorovných nebo do sklonu asi 40°, pokud je sklon vyšší, vlna se odrazí do boku nebo sklouzne dolů a nevrátí se. Vertikální anomálie se proto velmi špatně detekují.

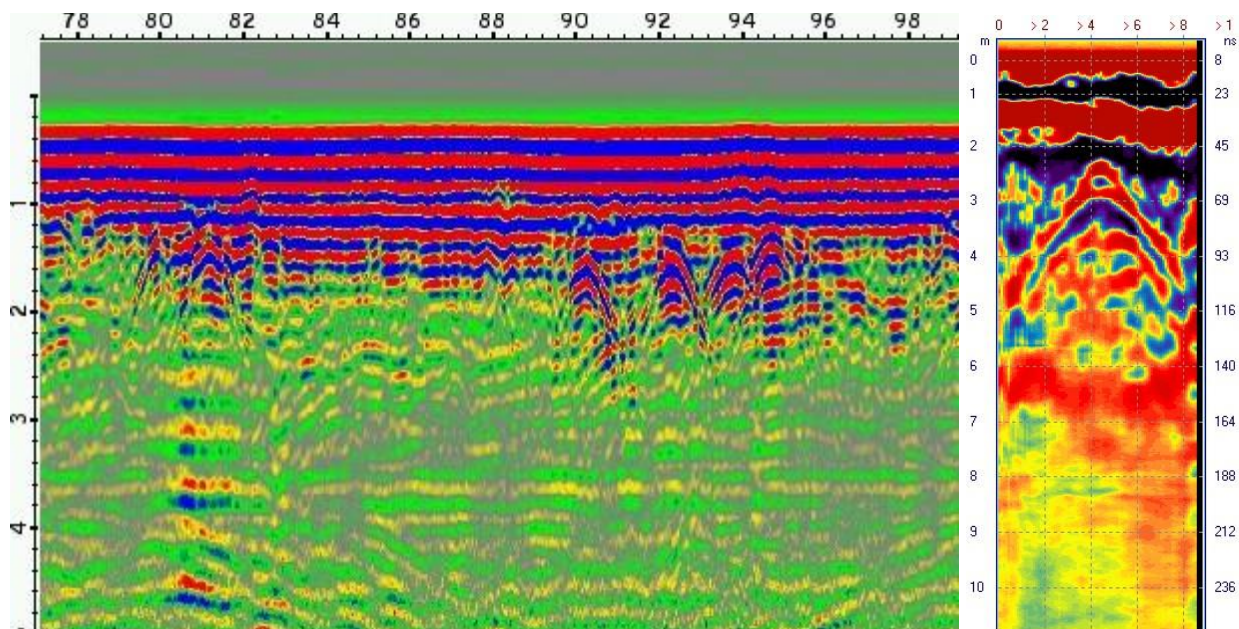


Geologický zlom s řadou kolmých trhlin.

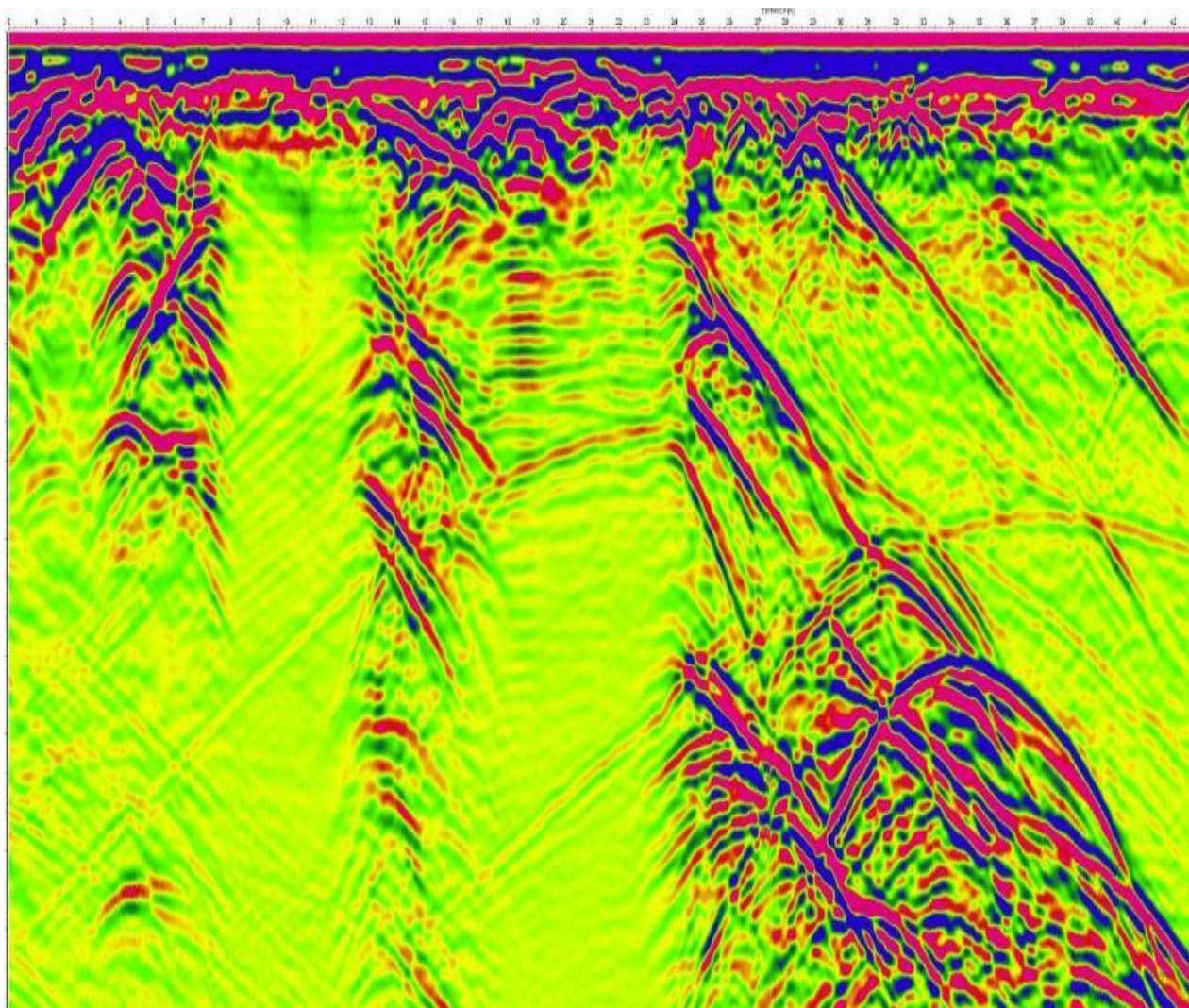
V místech, kde se může vlna šířit horizontálně (mezi vrstvami) nebo v horninách s malým útlumem, vznikají od vertikálních anomálií odrazy ve tvaru ukloněné přímky, která na okraji anomálie končí a pokračuje na druhé straně pod opačným sklonem. Ze sklonu těchto přímek se nechá určit rychlost šíření vlny v této oblasti.



Hyperboly u výrazných objektů vznikají proto, že georadar je ještě kus před objektem, ale vlivem kuželové charakteristiky antény již od tohoto objektu dostává odraz s menší intenzitou a s **delším časem a tím i větší hloubkou**, než odpovídá skutečné hloubce objektu. **Program zakresluje tento objekt kolmo pod místo měření.** Pokud se k objektu georadar blíží, narůstá nám z těchto odrazů před objektem hyperbola, která má vrchol v místě, kde jsme objektu nejbliže (nemusíme být přímo nad objektem, může být vlevo nebo vpravo, **jsme jen k němu nejbliže!**), při dalším pohybu georadaru hyperbola opět klesá a snižuje se intenzita odrazu. Na obrázku dole jsou kořeny v jílových sedimentech. Našly si místo přesně tam, kde je nejvíce vody, těsně nad skalním podložím. Hyperboly vznikají pouze v horninách s malým útlumem nebo v malých hloubkách, vlna se zde šíří více do stran. Hyperboly mají velký význam v tom, že program z jejich tvaru dokáže určit rychlost šíření vlny a velmi přesně i hloubku

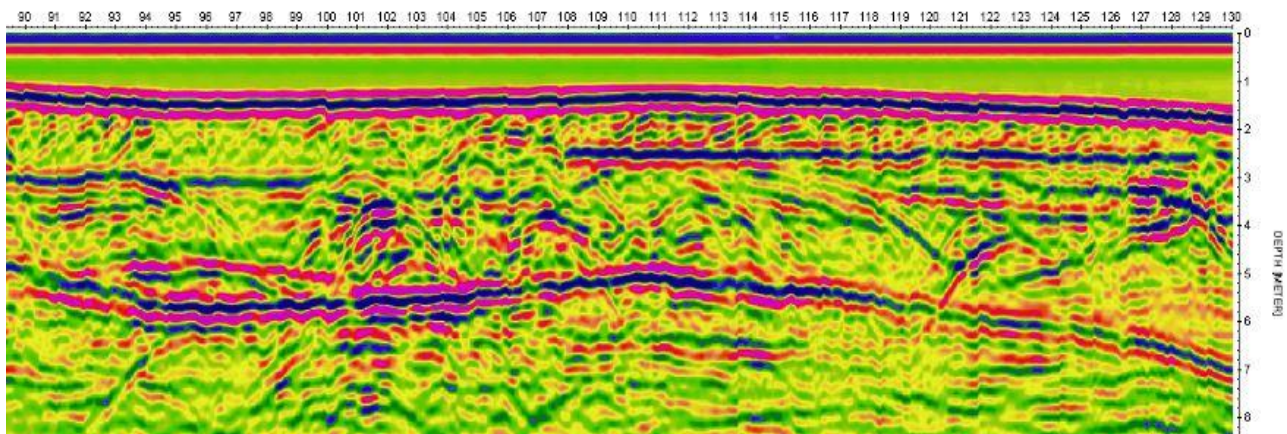


U výrazných objektů vznikají na místě ostrého přechodu vodivosti a permitivity tři fáze odrazu. Pokud je shora sled fází červená - modrá - červená, jedná se o objekt, který má větší vodivost nebo permitivitu, než je v materiálu nad ním (např. kovy, dutiny s vodou...). Pokud je shora sled fází modrá - červená - modrá, jedná se o objekt, který má nižší vodivost nebo permitivitu, než je v materiálu nad ním (např. dutiny, suchá místa ...). V případě obrázku s kořeny je sled barev č-m-č, kořeny mají vyšší obsah vody než okolí. Dutina na pravém obrázku by měla mít opačný sled barev, je to však chodba s cihlovým mokrým stropem, dutina je ta modrá oblast. Dole jsou odrazy ve vápencích.



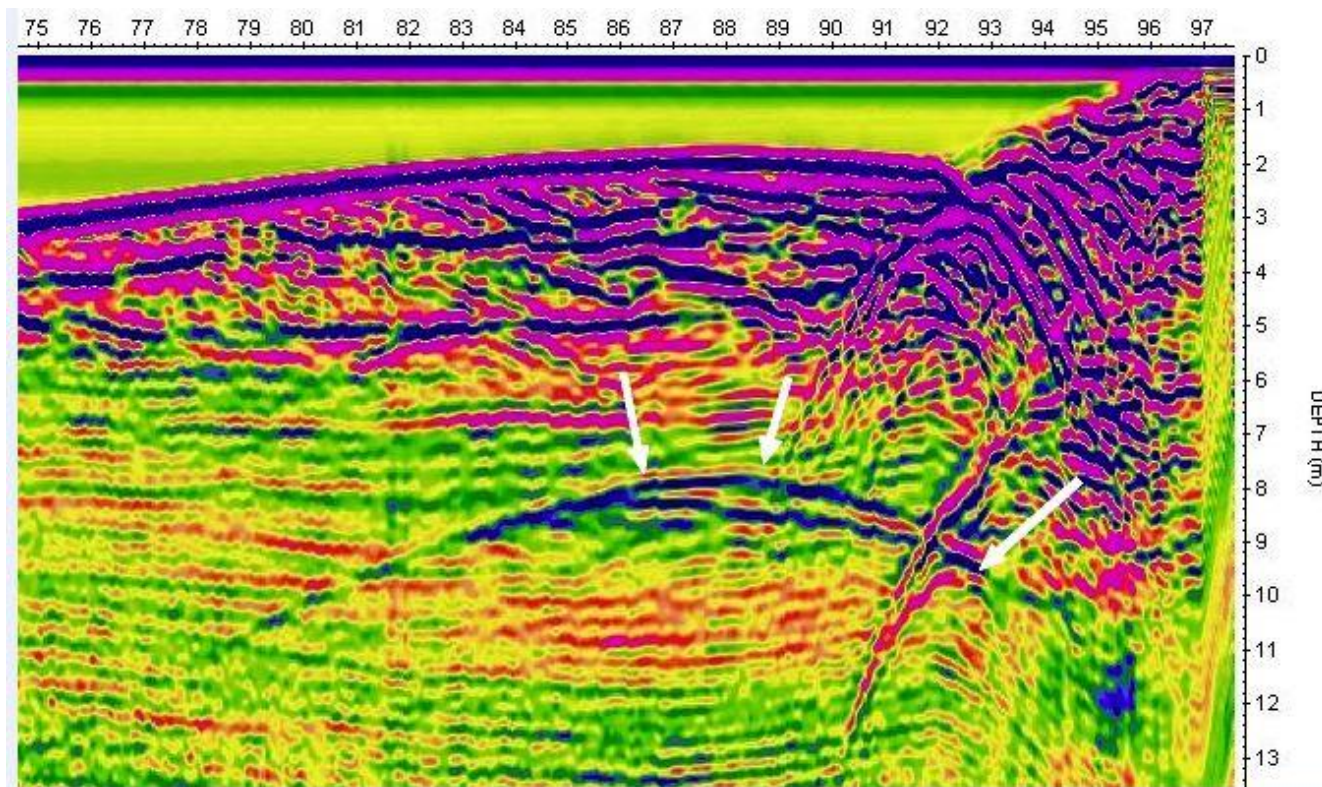
Od výrazných vrstev pod povrchem se signál při průchodu zespondu může částečně odrazit zpět pod zem a znovu dojít k anomálii, od které se odrazil. Protože k přijímací anténě dojde se značným zpožděním, zapíše se v radarogramu pod tuto anomálii jako řada slábnoucích odrazů v pravidelných rozestupech (tlumená rezonance).

Velmi výrazně se takto chová vodní hladina, při průchodu vlny od spoda se vlna od rozhraní voda - vzduch odráží zpět pod vodu. Odraz dna tak bývá často dvojité. V programu je na to speciální filtr. Dole měření na Dunaji, spodní odraz je kopií průběhu dna, ve vodě je vlna asi 3x pomalejší, proto je tak hluboko.



Signál z vysílací antény se také šíří vzduchem do okolního prostoru a od větších nebo vodivých předmětů se opět může odrazit a být přijat anténou. Tyto objekty v radarogramu vidíme jako velmi široké hyperboly, nebo přímky, podle toho jak se s radarem vůči tomuto objektu pohybujeme.

Ze známého času odrazu a z rychlosti šíření vlny ve vzduchu se nechají tyto objekty snadno rozpoznat a určit v prostoru. Dlouhý modrý odraz dole je vzdušný, pod ním vpravo je odraz s užší hyperbolou, odpovídá mnohem pomalejší rychlosti šíření, objekt je pod dnem řeky.



Určitým paradoxem je měření velmi dlouhými anténami v lesích. Měříme většinou do velkých hloubek a s velkým výkonem. Mohli bychom se obávat vzdušných odrazů od různých nadzemních vedení do vzdáleností několika km, ale les se chová jako perfektní tlumení a taková měření jsou od určité hloubky (po odrazech od blízkých stromů) bez vzdušných odrazů.

Tak to byly vodorovné vrstvy a teď jsou tady ještě změny ve vodivosti a permitivitě svislých vrstev, které nám způsobí to, že ten kuželový paprsek nám začne uhýbat do stran nebo se začne měnit jeho šířka. Pokud máme v mokré hlíně ve 2 m výkopu kabel, zasypaný suchým pískem, je chyba lokalizace do stran až 1 m. To je jistě extrémní případ, ale i tato odchylka může nastat, zejména při zaměřování objektů ve větší hloubce pod zemí. Vertikální objekt může způsobit i to, že pod ním nejsou zřetelné odrazy, pohltí nám vlnu nebo se vlna od něj odrazí hodně šikmo a zmizí v hloubce. Tedy i to, že tam nejsou odrazy, nebo sloupec odrazů, může být způsobeno nějakou anomálií.

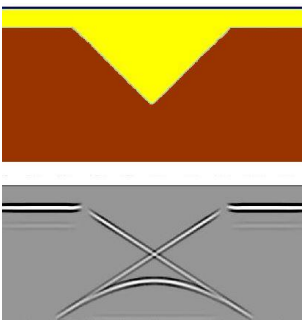
Celý postup šíření vlny se nechá přirovnat k tomu, jako bychom v kalné vodě měli najít objekty na dně a měli bychom k dispozici pouze nafukovací balónek, který můžeme v každém místě postupně nafukovat a zjišťovat, kdy se dotkne pevné překážky. Pokud vrstvu vody nahradíme vrstvou oleje, vody a rtuti (ve skutečnosti je to spíše obráceně - a to se nám ten balonek pak pěkně zdeformuje), tak dostaneme velmi reálnou představu o tom, co georadar vlastně měří a jak. Ještě že máme na pomoc grafické zobrazení na PC a SW na vyhledávání objektů a frekvenční filtraci.

Potlačení nedostatků radarogramu softwarem

Program na zpracování radarogramů má různé filtry, jak výše uvedené nedostatky v radarogramu potlačit. Můžeme zdůraznit pouze některé frekvence, ty rušivé zase potlačit. Můžeme omezit zrcadlové odrazy, vyfiltrovat vzdušné odrazy atd. To nám pomáhá zviditelnit i malé rozdíly v chování vlny a zjistit nevýrazné a hluboko uložené objekty. Za hodinu se naměří tolik dat, že je pak můžeme 10 hodin filtrovat a vyhodnocovat, popisovat...

Programy mohou simulovat i odrazy, které bychom měli změřit na zadané modelové situaci. Znalost těchto odrazů nám pak pomáhá správně interpretovat naměřené radarogramy.

Spodní oblouk vzniká odrazem od stěn výkopu, nikoliv na jeho nejnižším bodě.



Tak to je základní kurz pro čtení radarogramů a teď již můžete "odborným" okem prohlížet jakékoliv radarogramy.

Ukázky dalších výsledků a radarogramů firmy Tengler:

<http://www.georadar.rtg-tengler.cz/priklady-mereni>

Zdroje k tomuto vysvětlujícímu článku:

<http://www.georadar.rtg-tengler.cz/cteni-radarogramu>