

Pg. Jaroslav U h l i k, VÚHU

Využití elektromagnetických polí vysílačů k určování tektoniky a linií
výchozů v oblasti dolů SHD a HDES

V dnešní době je geofyzikální průzkum v oblasti třetihorních hnědouhelných pánví zaměřen, na základě požadavků z praxe, na vyhledávání tektoniky vymezené z obecnější definice tektoniky, a to na statickou ukončenou tektoniku. Tedy nikoliv na jevy jako počínající tektonické efekty - flexury, dynamickostatické projevy, skluzy, kliváže apod.

Průzkum je dále zúžen na vyhledávání tektoniky prolomového a hrástového typu.

Pro tento účel definovaný pojem tektoniky byla vyvíjena aparatura a metodika využití elektromagnetického pole středovlnných a dlouhovlnných vysílačů. Tato metodika využívá šíření povrchové rovinné vlny vysílačů a určuje jejich složky pole, včetně složky energetické, a to v prostoru s výskytem poklesů a přesmyků. A to buď v případě ojedinělých efektů, nebo i v komplexní stavbě, např. hrástí a prolomů. Průzkum se ukázal reálný nejen v prostředí makrotektoniky, ale i při jisté specifikaci metody (anténní systém) i v měřítku mikrotektoniky.

Metoda dlouhých vln (v poslední fázi pokusů i pro obor středních a krátkých vln), obvykle označována v ČSSR jako metoda VDV není v podstatě novinkou (dále jen metoda VDV). Tato metoda již zaujala v klasických učebnicích geofyziky své místo. Většímu rozšíření byla na překážku složitá teorie a vyhodnocování, včetně komplikovaného zjišťování jednotlivých parametrů elektromagnetického pole. Toto je platné pro všechny metody vysokofrekvenční geofyziky, do které sledovaná metoda patří.

V poslední době je metoda VDV na vzestupu, díky své vysoké produktivitě a ekonomice. Zajímavá, je-li důsledně zaváděna nejen automatizace měření, ale i vyhodnocení.

Vzhledem k omezenému dosahu klasických metod geofyziky pro zjišťování efektů tektoniky i výchozů uhelných slojí, bylo nutné vyzkoušet metodu VDV i v revírech SHD a HDES. Klasické metody jako jsou gravi-

metrie, seismika a z části i odporové a indukční metody, vyhovují pouze při semidetailním průzkumu nebo při jednoduchých interpolačních a extrapolacích měření, kdy je z části charakter tektonických linií znám. Je proto účelné tyto maloproduktivní, nepřímé metody omezit jen na doplňující úlohu, tj. přesunout základní výzkum pro uplatnění metody VDV a tuto samozřejmě nikoliv samospasitelnou metodu doplnit popisovanými metodami klasickými. Tím by se zvýšila produktivita tohoto typu průzkumu a byla docílena větší jednoznačnost interpretovaných tektonických a výchozových lokalit.

Protože popisovaná metoda nebyla dosud vyzkoušena v poměrech SHD a HDBS bylo nutno vyvinout, vzhledem k specifickým poměrům v třetihorních hnědouhelných pánvích, vzhledem k proměnným a složitým úložním poměrům a konečně i vzhledem k technologii při nasazení velkstrojové dobývací techniky nejen aparaturu, ale provést i základní ověřovací měření. Bylo nutno vyvinout zcela novou techniku měření i vyhodnocení.

Tento článek se tedy zabývá návrhem vhodné aparatury, ověřováním různého anténního systému, zmechanizováním měření a způsobem automatické registrace naměřených hodnot. Dále pak vývojem vhodné metodiky měření i interpretace vzhledem k makro i mikrocharakteru měření na jednom měřeném úseku.

V počáteční fázi bylo proto provedeno zkoušení citlivosti metody, vhodného anténního systému v návaznosti na dopravní prostředek užitý pro vlastní měření. Aparatura byla umístěna na terénním automobilu (pro regionální měření) a na dvoukolovém podvozku (pro detailní průzkum).

Kromě uvedeného bylo provedeno rozsáhlé měření zkušební a ověřovací v typických oblastech uhelných pánví, s přihlédnutím k budoucím oblastem perspektivního geologického výzkumu.

Metoda VDV patří do oboru vysokofrekvenční geoelektriky. Praktický rozsah použité frekvence je od 75 do 600 kHz. Zdrojem energie je vysílací stanice o uvedeném spektru a pro běžná měření - indikační lze užít obyčejných komerčních stanic. Pro cejchovní a normálové měření a pro velmi přesná měření slouží normálové "geofyzikální" stanice se

stabilizovaným signálem. Měří se v tzv. "vzdálené zóně" cca 100 km a více od vysílače, kdy je zaručena rovinná povrchová vlna bez ionosférických a jiných rušivých reflexů.

Měřicí aparaturou je citlivý tranzistorový přijímač. Zesilovač signálů (též měřič pole) je superheterodyn s rámovou a tyčovou anténou z kovu a feritu. Anténa má horizontální i vertikální orientaci. Citlivost zařízení po zlepšení systému dosahuje až 10^{-14} Web.m². Vstupní odpor anténního zesilovače je asi 1 MOhm.

Určující parametry jsou: dielektrická konstanta (nejdůležitější parametr), elektrovedivost (důležitá pro střední frekvenci) a okrajovou hodnotou je magnetická permeabilita (v poměrech tercierních hnědouhelových pánví). Vektorové parametry zkoušené při měření: amplituda, fázový posun, napětí elektrického pole, napětí magnetického pole a UP (W) faktor. Amplituda pole slouží pro kvalitativní interpretaci. Soustava intenzitních složek pro interpretaci kvantitativní (v této fázi pokusů pro semikvantitativní interpretaci), fázový posun a UP faktor, slouží pro orientaci naměřené hodnoty v prostoru (zkoušena interpretace elipsy polarizace a převod naměřených hodnot na hodnotu specifického elektrického odporu, čímž se dosáhne jednoduché korelace naměřených hodnot (metodou VDV a elektrickou odporovou metodou).

Parametry i teoretické odvození užitých veličin není nutné v tomto článku uvádět. Mimo speciální vztahy (hloubkové faktory, vztah elektrovedivosti na dielektrické konstantě a určování hodnot elektromagnetického pole vzhledem k odstupu rušivého fónu), je tato teorie totožná s teorií střední a vyšší frekvence indukčních metod. Odvození základních rovnic pro různé rozhraní a různé tvary rušivých těles je provedeno ze základních Maxwellových rovnic a z rovnice telegrafické. Tyto vztahy jsou uvedeny v každé základní učebnici geofyziky (3, 4).

Jako základní měření byla vždy měřena horizontální složka elektrického pole indukovaného v zemi, modul E_g a horizontální složka magnetického pole ve vzduchu H_{x1} . Elektrický odpor prostředí byl vypočítán podle vztahu:

$$\rho_{ex} = \frac{\lambda}{240 \pi^2} \left(\frac{|E_g|}{|H_{x1}|} \right)^2$$

a hloubka dosahu podle vztahu:

$$h_i = \frac{\lambda}{2\pi \sqrt{1/2 \sqrt{\epsilon^2 + (60\lambda \sigma_2)^2} - \epsilon}}$$

kde: ρ spec. odpor prostředí
 λ vlnová délka
 E elektrická složka pole
 H magnetická složka pole
 h hloubka
 ϵ dielektrická konstanta

Protože ve světovém trendu vývoje VDV aparatury se vyskytují dva základní směry vývoje, bylo nutno se rozhodnout pro vhodný typ měření: první směr se vyznačuje jednoduchou automatickou registrační aparaturou, většinou v jednosložkovém uspořádání s přímou registrací. Nevýhodou je nemožnost kvantitativní nebo alespoň semikvantitativní interpretace. Výhodou je vysoká produktivita měření. Druhý směr se zabývá měřením více složek sledovaného elektromagnetického pole. Měření je bez automatizace, většinou prováděné bod od bodu s nízkou produktivitou měření. Lze však provádět semikvantitativní interpretaci, tj. určit sklony a směry tektonických linií, hloubku skoků či polohy slojí v blízkosti výchozů. Je zřejmé, že nejvhodnější je kombinace obou metod při zachování produktivity první a kvantitativního charakteru druhé metody. Proto byla vyvinuta nejprve jednosložková, později dvousložková aparatura s automatickou registrací. Problematickým bylo nejprve odstranění poruch elektromagnetického pole specifickými rušivými jevy při dolové činnosti (funkce trojového vedení, činnosti velkostrujů, vliv signálního provozu trafostanic atd.). Pro získání čistého nerušeného signálu nebo alespoň nerušeného signálu (srovnej přílohu č.2 a č.4) byla zkoušena rámová a víceprvková izolovaná anténa. Pro dielektrickou složku byl zkoušen prutový dipól v horizontální i vertikální orientaci. Rotační a kombinovaná anténa je ve stadiu přípravy.

V souvislosti s rušením vozu bylo zkoušeno odrušení vozu změnou anténního systému, zmenšením svodových ztrát antény apod. Byl zaveden svod koaxiálním kabelem.

Dalším důležitým krokem bylo kvantifikování vlivů a rozčlenění charakteru rušivých složek pole. Zejména vliv VVN a VN vedení, kabeláže, trakce elektrifikovaných tratí, vliv kolejí, propustků, mostů a předmětů o větší hmotnosti nebo s větším obsahem železa apod. Dále byl určen vliv trafostanic, rušivý vliv širokopásmových vysílačů, směr vysílačů vzhledem k orientaci antény k tektonické linii a konečně vliv topografického efektu na měření. Postupným katalogizováním poruch byla sestavena typizovaná kolodce rušivých vlivů a přistoupeno k jejich postupné eliminaci nebo v negativním případě eliminace k jejich kvantitativní kategorizaci. Po postupném očištění rušivých efektů byla sestavena mobilní aparatura s dvěma přepínatelnými anténami pro dvou- a více- a budoucí vlnový záznam.

V další etapě byly ověřovány známé anomálie zjištěné předem vizuálně a geologickou cestou (vrtný průzkum). Byly zjišťovány účinky stromového efektu anomálie, účinky směrového efektu. Viz příklad na obr. č. 3, kde je horizontální šipkou udáno pásmo působnosti antény, svislou šipkou pak poloha vlastní anomálie, a to šipkou směřující vzhůru je udán směr měření zleva doprava a šipkou směřující dolů směr zprava dolova. Pro informaci je uvedena i porucha záznamu stíněním elektrickou lokomotivou. Byl zkoušen vliv polohy antény vůči zemi, vůči vozidlu, a to v terénu rovném i nerovném a konečně byla zkoušena neměnnost tvaru anomálie v čase. Měření bylo opakováno v různých etapách (denních, týdenních i více denních), a to i vliv letního a zimního měření, měření v deštivém či suchém počasí apod. Na příloze č. 6 je příklad periodického opakování měření v různé době - viz dále při popisu přílohy č. 6.

V závěrečné etapě byla zkoušena aparatura umístěná střídavě na voze i na podvozku. Byl sledován vliv mikrotektoniky nebo detailní průběh v případě složitějšího zlomu (dél Trstice). Uvedené pokusy byly opakovány při sledování východové linie (dél Barbora III).

Pro tyto účely (sledování rozložení hornin) byla sestavena orientační tabulka hornin podle hodnoty dielektrické konstanty. Měření jsou platná pouze pro rozsah frekvence, ve které bylo měření prováděno, tj. od 250 kHz do 275 kHz extrapolované hodnoty. Pro širší frekvenční rozsah bude nutno pokusné měření rozšířit.

Hodnoty dielektrické konstanty byly získány nepřímo, přepočtem složek na stejnocennou odporovou hodnotu. Pro praxi je důležitější opačný postup, tj. stanovení specifického elektrického odporu z dielektrické konstanty nebo přímo z indukovaných složek elektromagnetického pole. Za tím účelem byly sestaveny nomogramy pro získání hodnot z elipsy polarizace při vícesložkovém měření. Praktická měření v terénu nebyla dosud realizována.

Orientační tabulka hodnot specifického elektrického odporu a dielektrické hodnoty:

hornina	ohmometry spec. elektr. odpor	diel. konst.
pískovec suchý	450 - 1000	9 - 11
vlhký	100 - 550	11 - 19
podloží (ruly)	5000 - 10000	6 - 12
jíl suchý - pevný	20 - 40	10 - 14
vlhký - plastický	5 - 15	20 - 27
čistá voda x)	1000	80

Pro určení tvaru a výšky antény byla konána série pokusů nad geologicky různými terény. Na základě orientační tabulky a porovnáním na mikrovoltmetru bylo provedeno nacejchování hodnot v mikrovolttech (viz přílohy 1 - 5) v amplitudách nebo v poměru amplitud. Cejchování mělo charakter absolutní, tj. bez rozdílů uspořádání metody a typu antény.

Měřena byla magnetická i elektrická složka pole. Převládala elektrická složka vzhledem k typu sledovaných objektů (tektonice). V případě sledování změny hornin (výchoz) byla v převaze složka magnetická. Označení magnetické složky H_{xy} nebo H_g , elektrické složky E_g , schematicky (vzhledem k poloze antény) E_{xy} .

Pokusný terén pro sledování vlivu směru vysílačů byl zvolen v prostoru Hudecovské výšiny (malý topografický vliv). Zvolené stanice

x) měřeno laboratorně

Praha, Hvězda, Brno, Drážďany. Stabilita vysílání byla kontrolována opakovanými záměry. Terén se vyznačoval kontaktem porfyru teplického bloku s terciérem, tektonickou linií sledovanou vrty a křemitou žilou probíhající porfyrem vymapovanou geology. Intenzita všech vysílacích stanic byla srovnávána s cejchovním normálem 0,25 % maximální intenzity stanice Praha. Příklad měření na Hudcovské výšině je na obr. č.1. Úhlová závislost směru vysílacích stanic na intenzitě příjmu je ve sloupku "U" obr. č.1. Změna intenzity nad základní anomálií je patrná na křivce úhlové závislosti (poslední kolonka na obr. č.1) v kolonkách I - IV. Stupnice je v uvedeném případě udána ve stupních. Z diagramu je zřejmá přímá závislost intenzity příjmu na směru vysílacích stanic. Ideální je orientace paralelní se sledovaným objektem. Opačný případ je nejhorší, nevhodný pro terénní průzkum. Odtud plyne také nutnost vícesložkového měření se solenním registračním zařízením.

Během měření se ukázala důležitost selektivity anténního zařízení. Důležité bylo rovněž zemnění celého systému a jeho neproměnnost během prováděného měření. Nerovný terén dokázal změnit hodnotu zemního odporu automobilu s aparaturou o cca 30-40 %.

Z měření dvěma systémy antén a směru profilu (směru jízdy terénního vozidla tam a zpět do profilu) byla vypracována směrnice pro provádění terénní měření a byl vypracován empiricky nomogram pro stanovení maximální hodnoty příjmu při optimální selekci anomálního průběhu naměřené hodnoty různých vysílacích stanic. Na obr. č.2 je uveden příklad takového výběru stanice s vypracováním závislosti maximální hodnoty anomálie ze závislosti poměru amplitudy fonu (normálového měření) na maximální amplitudě různých stanic. Měření bylo provedeno na příčné tektonice podkrušnohorského zlomu v oblasti Horního Jiřetína. Kolonka č.1 - 4 je měření elektrické složky. Kolonka č.5 ukazuje složku magnetickou. Kromě uvedeného byla určena obecná závislost registrovaného poměru amplitud na druhé antény a na její poloze vůči vozidlu, respektive vůči směru měření. Z průběhu naměřených profilů na obr. č.2 je patrné, že zvyšování citlivosti zvyšuje amplitudu anomálního průběhu, ale vlastní křivka je pak více rozkmitaná a toto překrývání může zakrývat menší, méně zřetelné anomálie.

Na dole Jan Šverma byl proveden pokus s určováním tektoniky překryté jíly (silně vodivým materiálem). Tektonika byla patrná na nižším uhelném řezu a byla řádně zmapována. Prostředí bylo úmyslně vybráno se zřetelem na rušivé vlivy bludných průmyslových proudů (blízkost trolejového vedení, trafostanice a dopravní cesty). Kromě prostého určení polohy tektonické linie (soustavy linií tvořících pásmo cca 15-20 metrů) byl učiněn pokus vypočítat z elektrických složek hodnotu polarizace a určit sklon tektoniky. Tento vektorový faktor pro určení sklonu tektonické plochy určuje sklon přibližně. Pro přesné určení je nutno určit směr tektoniky z několika směrových měření nebo z několika směrových vysílačů. Pro nedostatek vhodného prostoru pro prováděná měření byly proměřeny jen dva kosé profily. Hodnota polarizace stanovená na 23° až 29° , s přesností $\pm 7^\circ - 9^\circ$. Vektor polohy určil sklon dislokace na $56^\circ, \pm 6^\circ$ až 8° . Kvalitativní odhad činil cca 45° . Skutečná hodnota 60° bez udání přesnosti (hodnota sklonu byla proměnlivá). Selektce maximální hodnoty amplitudy byla zvolena podle grafu na konci přílohy obr. č.2. Proměnné hodnoty byly získány z různých směrových stanic. Z přílohy obr. č.3 je patrné, že maximální citlivost nezvětšila příliš anomálii, ale zvýšila regionální rušivý fón. Přesto je záznam zřetelný a sklon a směr dislokace mohl být stanoven relativně spolehlivě. Záznam stanice je zobrazen v nezpracovaném stavu, tak jak byl naměřen včetně poruch, které měření ovlivnily. Obrácená polarita vysílače DDR je vyvolána opačným postupem vozidla s měřicí aparaturou oproti předchozím měřením (opačný systém vůz - anténa).

Na příloze obr. č.4 je měření se sníženou citlivostí záznamu. Rychlost měření (záznamu) je naopak zvýšena (25 km za hodinu). Výsledkem je vyhlazenější křivka, ale setření a deformace některých rysů anomálie tektoniky. V uvedeném případě byla ověřována známá dislokační linie u Obřího pramene pod ělčcovskou výšinou mezi Teplicemi a Duchcovem. Přes deformovaný záznam je dislokace patrná na všech záznamech. Tento způsob záznamu je však vhodný jen pro regionální záznam a nelze jej použít pro kvantitativní způsob interpretace. Pro stručnost jsou uvedeny jenom stanice Praha, Drážďany a Moskva. Poloha dislokačního pásma je zachycena s přesností ± 10 m, vzhledem ke geologické lokalizaci. Tento typ dislokace (otvřená dislokace - trhлина) je nejvhod-

nějším typem pro VDV průzkum.

Na příloze obr. č.5 je ukázka identického srovnávacího pokusu, který byl proveden nad známou döllingerovskou poruchou. Kromě döllingerovského pásma byl sledován i jeníkovský zlom. Porucha, situovaná mezi Duchcovem a Hájem u Duchcova je zmapována a ověřena, tudíž mohlo být konstatováno, že porucha byla zachycena s přesností ± 10 m. Na rozdíl od měření předchozího (obr. č.4) bylo měřeno s jednou vysílací stanicí při kvantitativně méně citlivosti. Na uvedeném příkladě je patrné vymizení méně význačných anomálií při snižování citlivosti záznamu. Měření bylo opět provedeno jenom v jednom profilu.

Na poslední příloze (obr. č.6) je uvedeno měření na dole Jirůsek, kde byl proveden pokus s periodicitou měření, tj. opakování měření v různých časových intervalech. Intervaly jsou uvedeny ve spodní části přílohy, obr. č.6. Kromě schematicky označené anomálie je na záznamu patrná i anomálie označená jako "a", která je vyvolána hmotou rýpadla D-800, pod kterým se při měření pojíždělo. Na posledním grafu není anomálie patrná - stroj nebyl v prostoru měření. Tvar záznamu je proměnný. Již z předchozích měření lze konstatovat velký vliv vlhkosti povrchových hornin na vlastní měření. Měření na obr. č.6 v kolonce III. předcházely velké deště. V uvedeném případě klesá hloubkový efekt a anomálie se zmenšuje. Přesto lze konstatovat, že anomálie i při různé velikosti i tvaru je trvalá.

Toto měření bylo konečným pokusem v sérii ověřovacích pokusů pro aplikování metody VDV v tercierní hnědouhelné pánvi.

Vyhodnocení bylo převážně kvalitativní. Usuzovalo se na anomální hodnotu odpovídající tektonice pouze z rozdílu hladin naměřených hodnot a ze šířky anomálního pásma. Z narůstání hodnot při dvousložkovém měření bylo možno usuzovat i o hodnotě sklonu hornin nebo tektoniky. Po určení amplitudové hodnoty a průměrné hodnoty pole pro H a E složky pole, byly údaje vyrovnány a odstraněny poruchy o známém efektu rušení včetně oscilace brumu. Anomální průběh křivky byl pak interpretován podle pravidel indukční metody geoelektriky. V druhé fázi ověřování metody VDV bylo přistoupeno ke kvantifikaci naměřených hodnot. Nejprve byly stanoveny anténní faktory a určeny reálné hodnoty E a H, a to buď

z prvků polí, nebo z více hodnot jednoho prvku při různých podmínkách, tj. při různých zdrojích vysílání a vlivy směru dislokace ze dvou kosých nebo kolmých profilů. Poté byla podle Tarchova, Bursiana a Krajeva provedena porovnání dielektrické konstanty a specifického elektrického odporu. Tím byla zajištěna nutná návaznost na geoelektrická odporová měření, předpoklad plánované komplexní metodiky pro vyhlodávání tektoniky.

Pro určení hloubky dosahu se užívá dosud empirický vzorec podle vztahů uvedených v úvodní části článku. V rámci automatizace měření se pracuje na semigrafickém postupu vyhodnocení hloubkových poměrů při jednoduchém vztahu hloubek a naměřených poměrů amplitud a fází. Tento postup však vyžaduje víceparametrický postup měření, který se nyní vyvíjí.

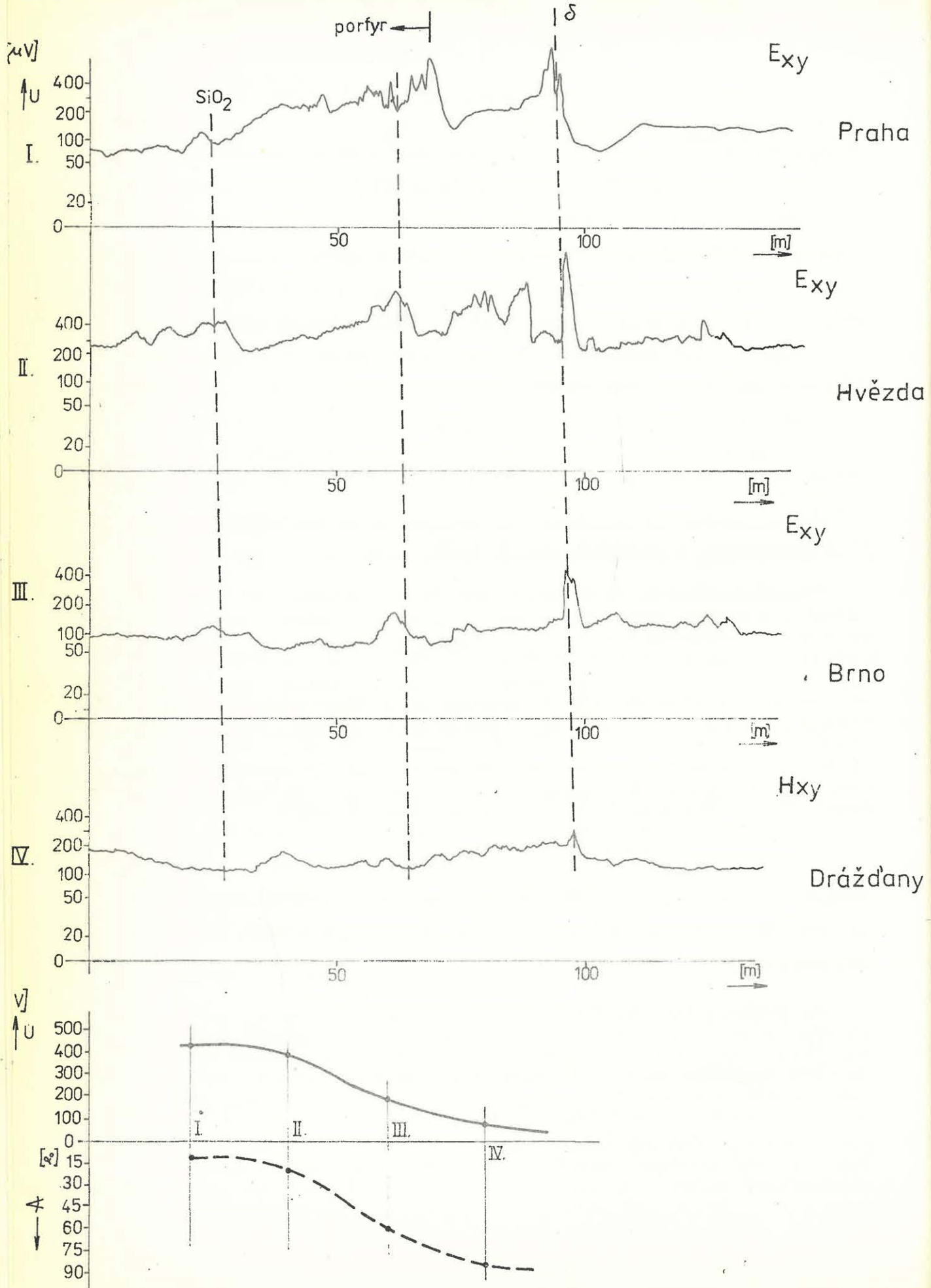
Na uvedených přílohách obr. č.1 až 6 lze posoudit životaschopnost metody VDV. Při výběru ukázek měření byly respektovány i případy negativní nebo nejednoznačné. Pro aplikaci v provozním měřítu bude nutné provést další ověřování v různých faciích hnědouhelného terciéru, zejména v oblastech okrajové tektoniky uhelných pánví.

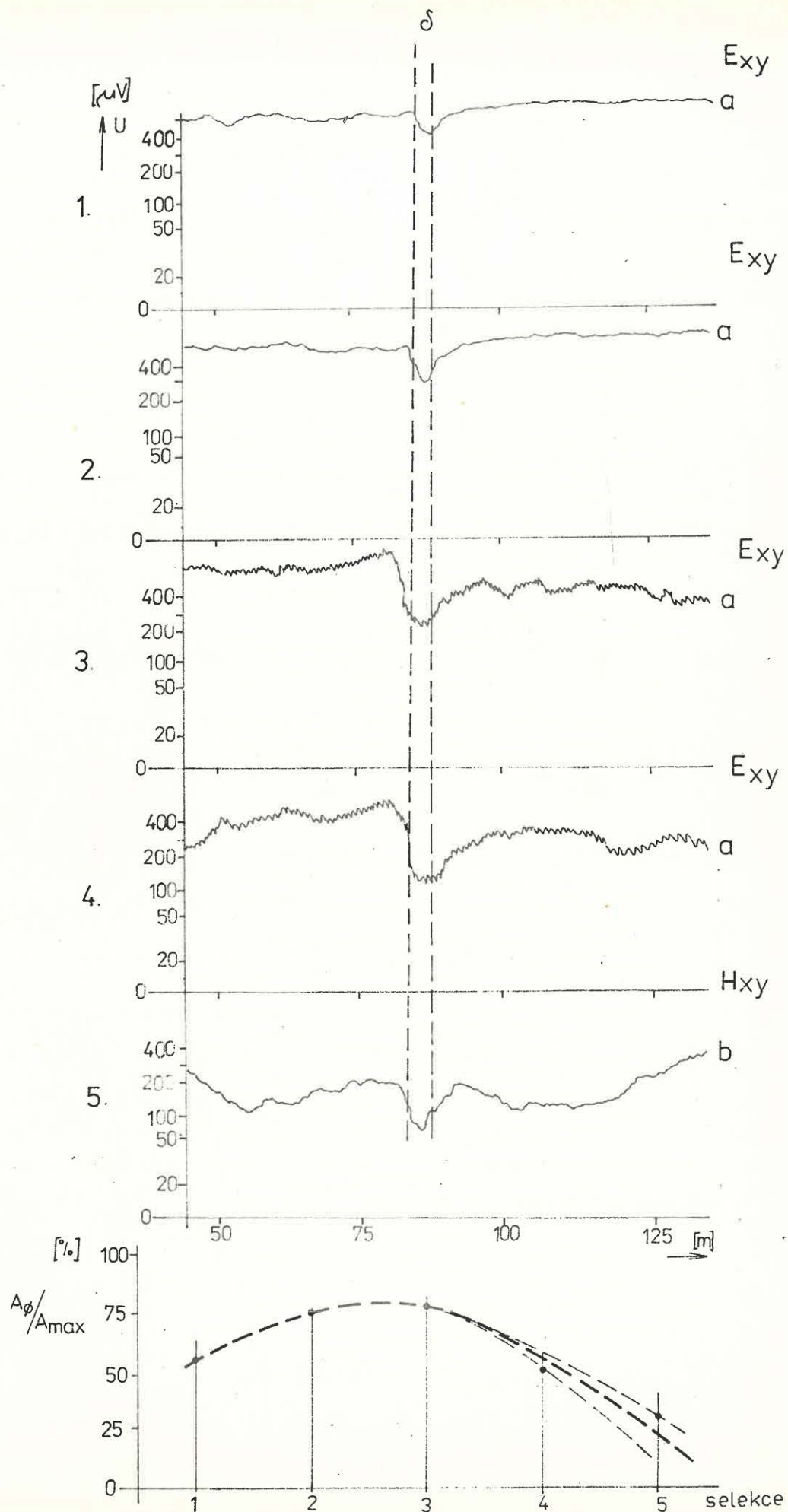
Dále je nutno konstatovat, že právě v složitých poměrech tektonické a úložné stavby není tato metoda (rovněž jako jiné průzkumné metody) jednoznačná. Je ji nutno začlenit do komplexu geofyzikálních metod, proto se předpokládá vyvíjet dále automatickou víceprvkovou registraci a automatické vyhodnocování naměřených hodnot, včetně korekcí pro udržení hlavního kladu metody VDV, to je její vysoké produktivity.

Literatura

- /1/ Tarchov - O přiměření geofyzikálních metod, Moskva 1939
- /2/ Tarchov - O odporu a dielektrické propustnosti, Moskva 1970
- /3/ Krajev - Harmonický elektromagnetický metod, Leningrad 1941
- /4/ Bezvozd - Harmonické pole, Praha 1968
- /5/ Hammond - Civil engineering and geophysics prospecting, London 1954

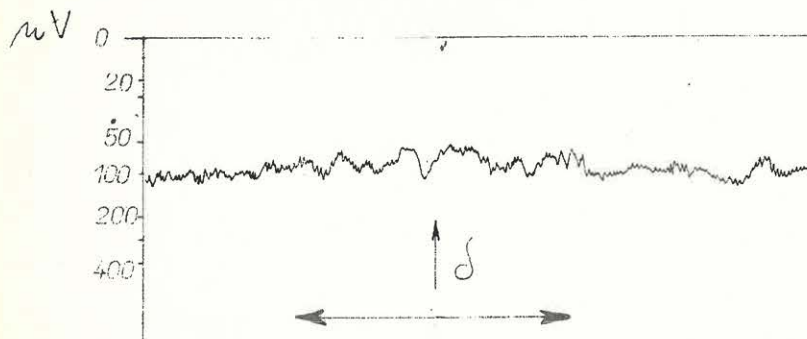
Recenzoval: Ing. Vratislav Vít



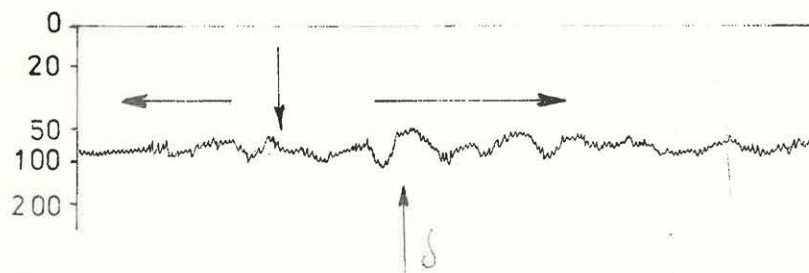


X ŠVERMA

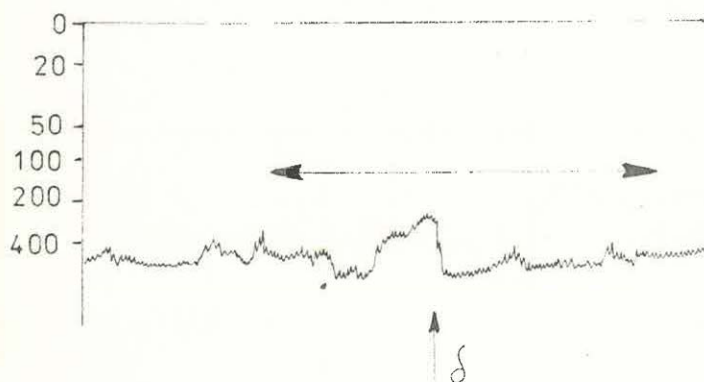
dislokace (zjevná)



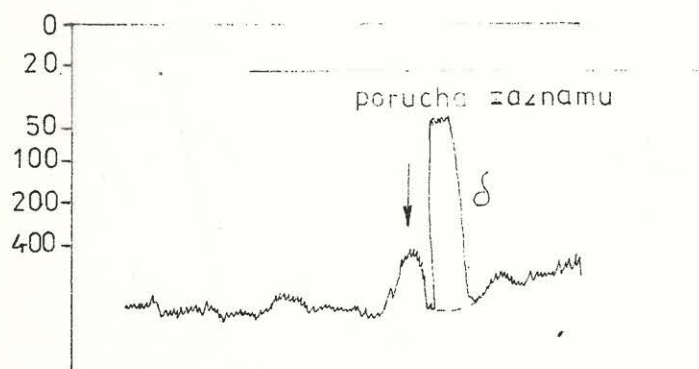
E_{xy}
PRAHA
MW



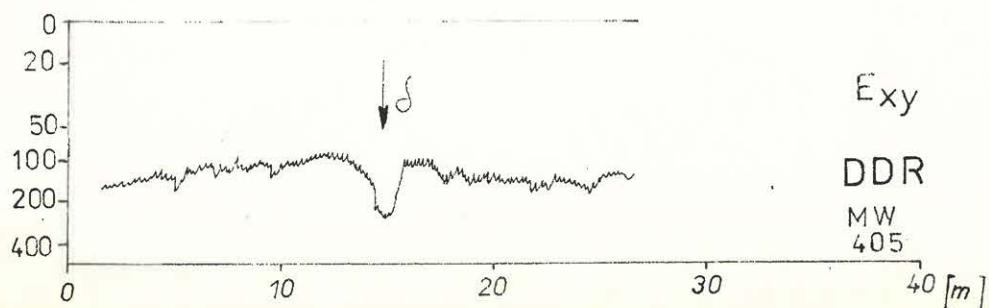
E_{xy}
BRATISLAVA
MW



E_{xy}
HVĚZDA
MW

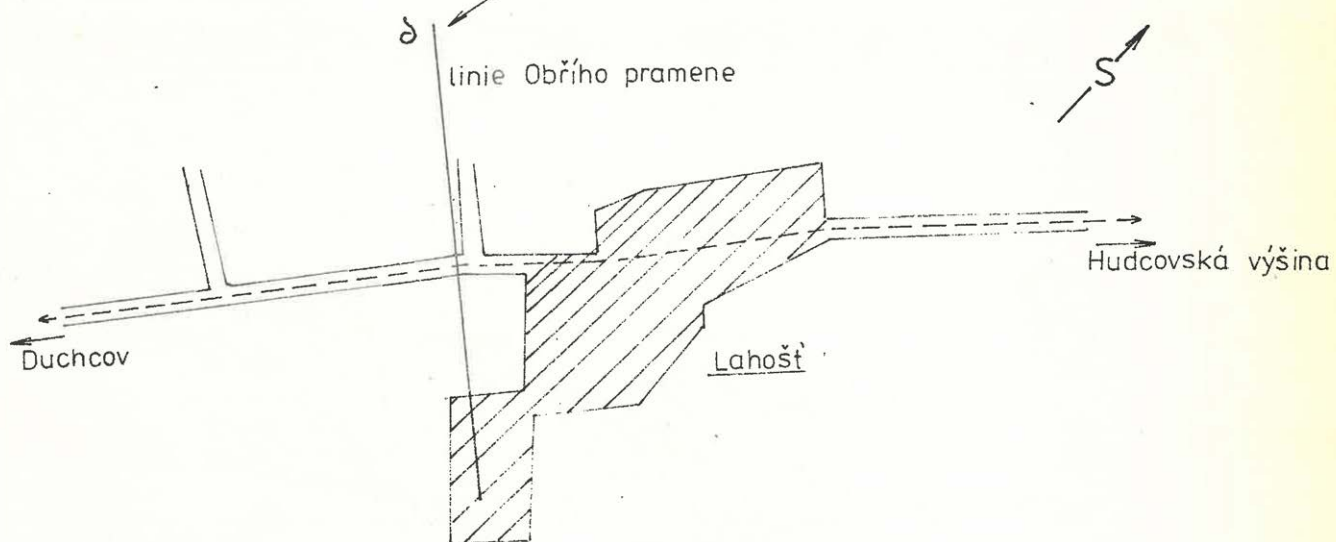
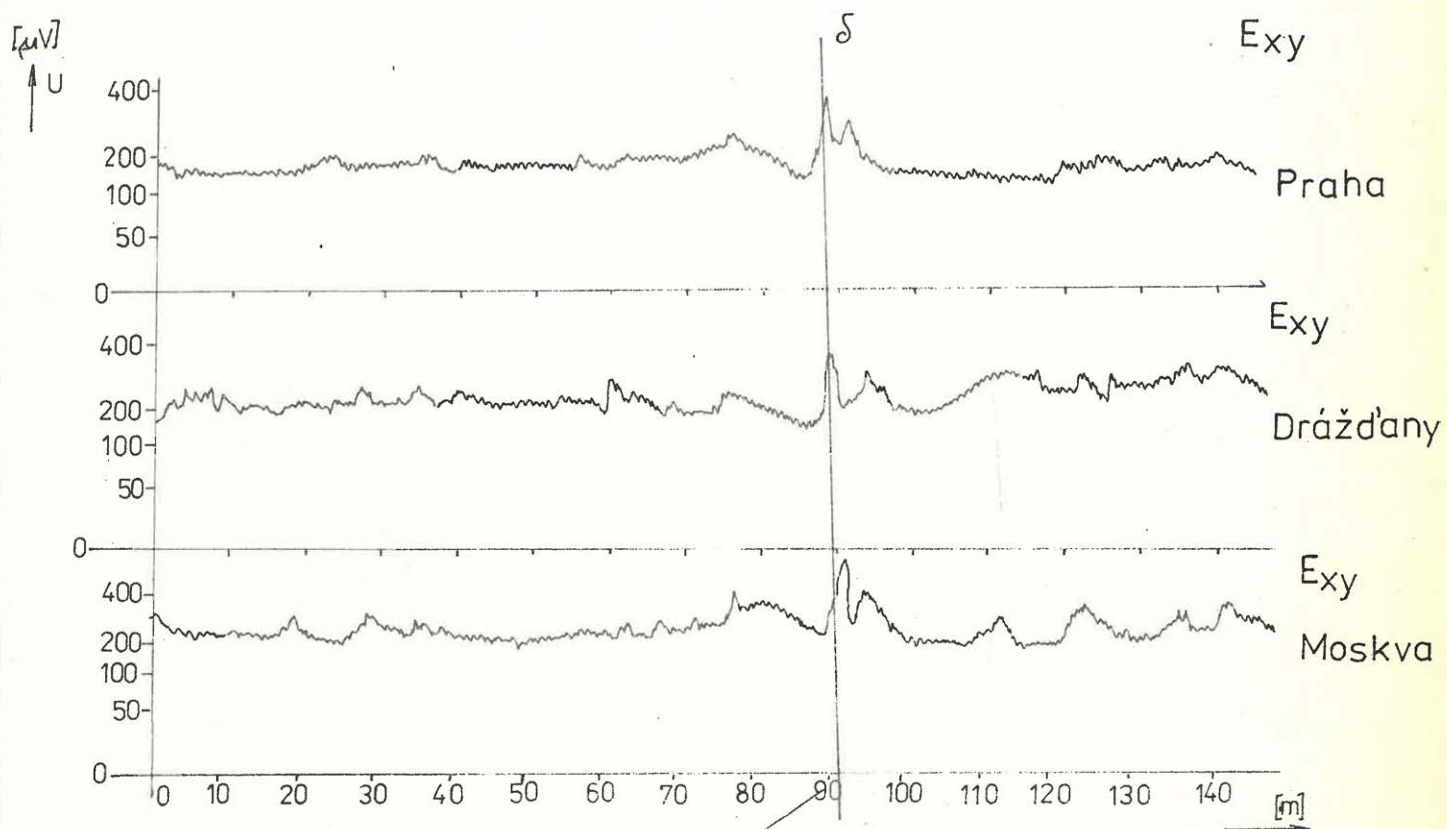


E_{xz}
DDR
MW
405

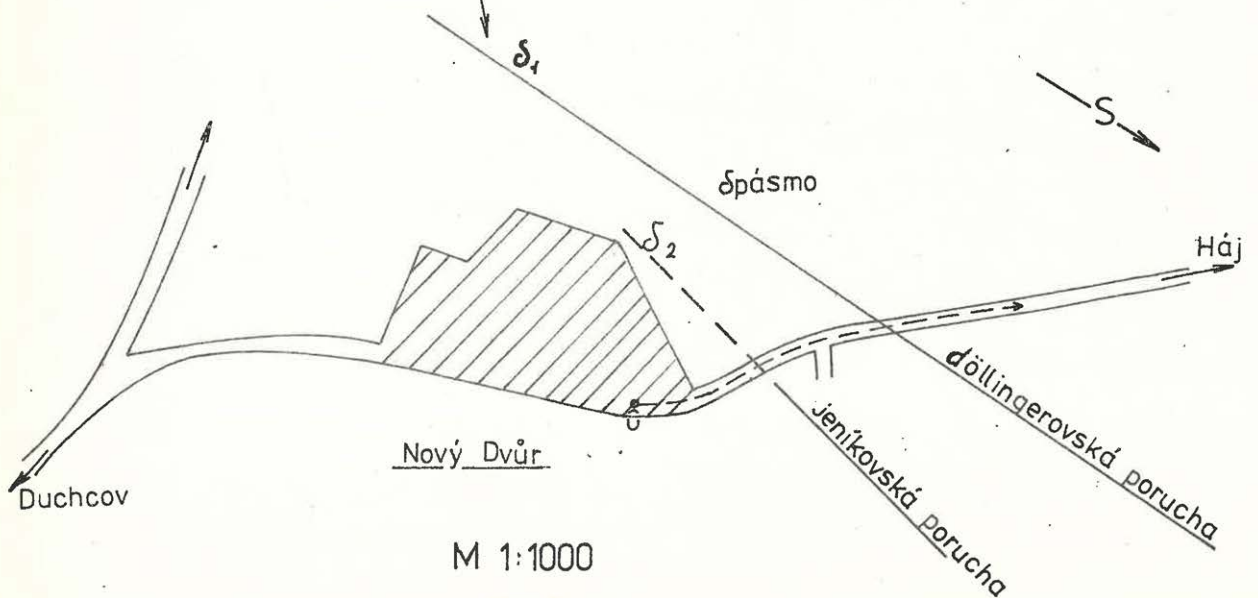
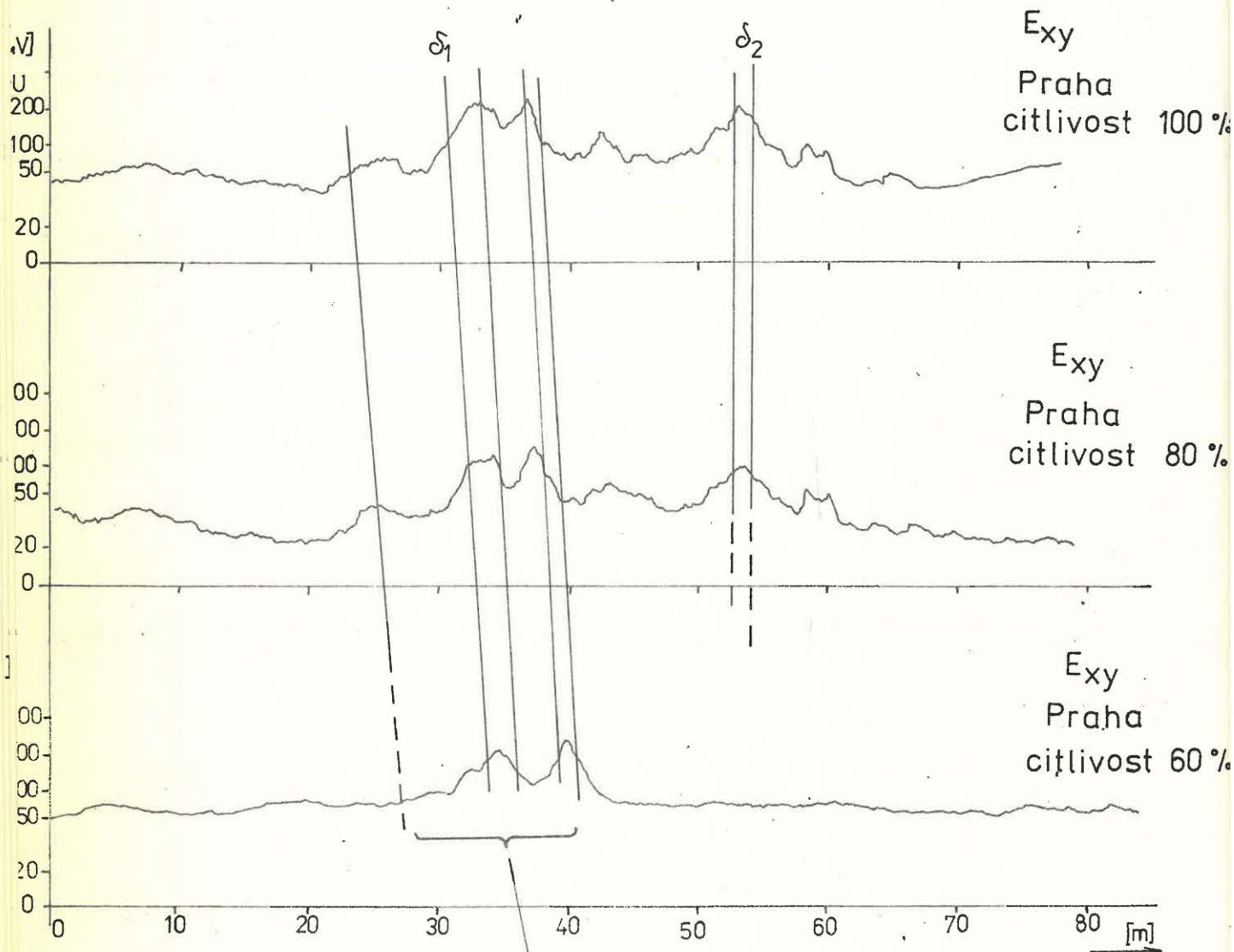


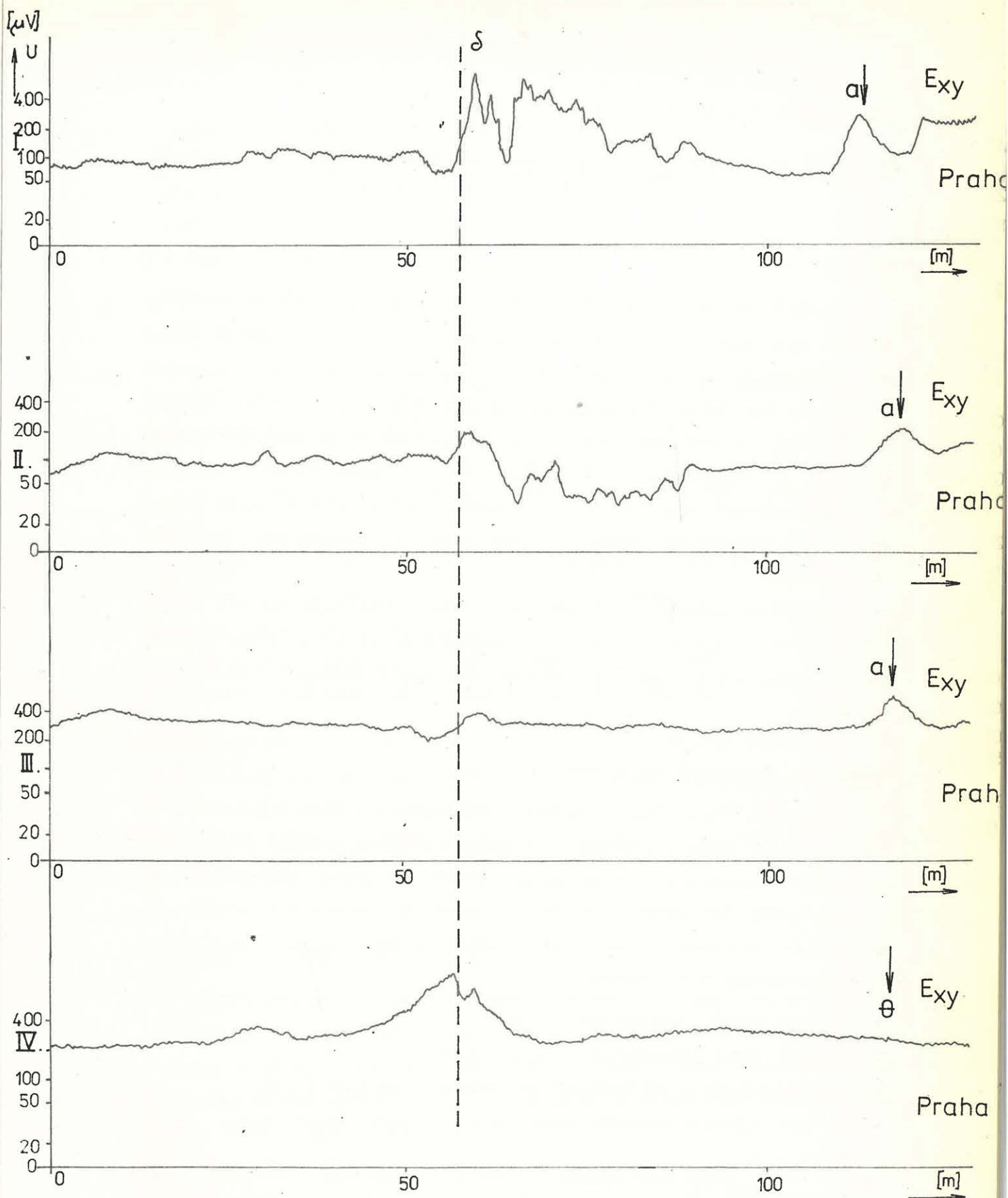
E_{xy}
DDR
MW
405

0 10 20 30 40 [m]



M 1:1000





I. - březen 76
 II. - červen 76
 III. - listopad 76
 IV. - březen 77

pozn: posunutí záměru polohy dislokací
 ustupujícím řezem

a) vliv rypadla D-800