

Tato kapitola demonstruje v zestručněné formě interpretační výklad mapových listů v dílčích ročních zprávách.

Tíhové podklady byly analyzovány s ohledem na strukturně geologické indikace oblastí perspektivních pro akumulace uranu. Byly to především průběh paleovulkanických pruhů a dílčích těles (včetně silicitů), porušení pruhů příčnými zlomy, tektonické linie a uzly, alterované

zóny, celkový strukturální plán území, morfologie granitoidních masivů, distribuce neovulkanitů apod. Některé nové poznatky lze uplatnit i při komplexním zpracování dat pro úkol „KTB“. Pro podrobnější interpretace, mapy tíhových anomálií, detailní schémata apod. odkazují na závěrečnou zprávu Polanského-Mrliny et al. (1990). Pokud vyvolají uvedená data a geofyzikální interpretace diskusi nebo přehodnocení některých geologických závěrů, bude naplněn smysl tohoto příspěvku.

Prof. ing. Jan GRUNTORÁD, DrSc.  
Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy, Praha

550.38

## Vliv magnetosféry na životní prostředí

Ve člancích publikovaných v číslech 10/1992 a 3/1993 Geologického průzkumu bylo poukázáno na přímou lineární závislost objemové aktivity radonu  $Rn-222$  a koncentrace lehkých atmosférických iontů v troposféře, zejména v budovách. Růst objemové aktivity radonu je pokládán za lidskému zdraví škodlivý, růst koncentrace atmosférických iontů (a jej provádějící koeficient unipolarity  $P = n^+ / n^-$  blízký jedné) za prospěšný.

Sledování vlivu objemové aktivity je věcí biometeorologie, definované takto (Tromp 1974): „Biometeorology comprises the study of the direct and indirect effects (of an irregular, fluctuating or rhythmic nature) of the physical, chemical and physico-chemical micro- and macro-environments of both the Earth atmosphere, and of similar extra-terrestrial environments, on physico-chemical systems in general and on living organisms (plants, animals and man) in particular“. Z biometeorologické literatury (např. Bouma 1987: *Biometeorology and Geopathology*) vyplývá, že korelace mezi zdravotními ukazateli a běžnými meteorologickými parametry (teplota, vlhkost a tlak vzduchu, sluneční svit, množství srážek atd.) sice existuje, je však nevýrazná. Pokud jsou v biometeorologických studiích mezi sledované faktory zahrnuty aktivita slunečních skvrn a geomagnetická aktivita (Stoupel 1978: *Solar Terrestrial Prediction*; Hejkrlik 1992: *Vztah složek životního prostředí a zdraví dětské populace*), vždy se svým faktorovým skóre řadí na přední místa a jejich korelace se zdravotními ukazateli je výrazná.

Z literatury a částečně i z našich výzkumů vyplývá, že rozhodující vliv na charakter klimatu a mikroklimatu v přepovrchové troposféře má sluneční aktivita, uplatňující se v biosféře (tzv. druhotnými vlivy) prostřednictvím magnetosféry.

V tomto článku jsou stručně prezentovány současné znalosti o magnetosféře a je učiněn pokus o charakteristiku možného vlivu magnetosféry na geochemické procesy v litosféře a troposféře. Ty nepochybně ovlivňují životní prostředí a lidské zdraví.

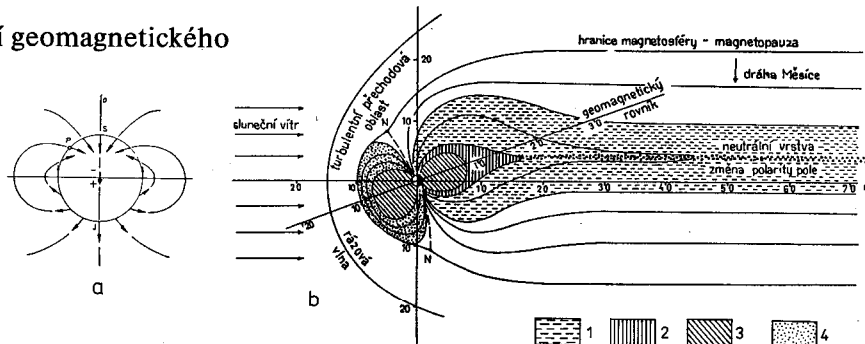
### Magnetosféra

Výsledky současných měření geomagnetického pole přímo v kosmickém prostoru ukázaly, že magnetosféra má složitý, vzhledem k naší planetě výrazně asymetrický tvar. Dipólový tvar magnetického pole Země (obr. 1a), jehož hlavním zdrojem je „hydrodynamo“ v zemském jádru, je deformován působením Slunce (obr. 1b). Vedle elektromagnetického záření o různé vlnové délce

vysílá Slunce k Zemi i stálý tok plazmatu (nabitých částic – protonů a elektronů), označovaný jako sluneční vítr. Země je tak vystavena neustálému působení korpuskulárního záření, jehož energie ( $10^4$  GW) je částečně (cca 2 %) přijímána a přetvářena v magnetosféře. Stav magnetosféry ovlivňuje cirkulační procesy v atmosféře a tak nepřímo určuje charakter počasí. Magnetosféra také chrání biosféru před zhoubným působením slunečního větru. Bez magnetosféry by na zemském povrchu nebylo života. Mohl by však existovat pod vodní hladinou.

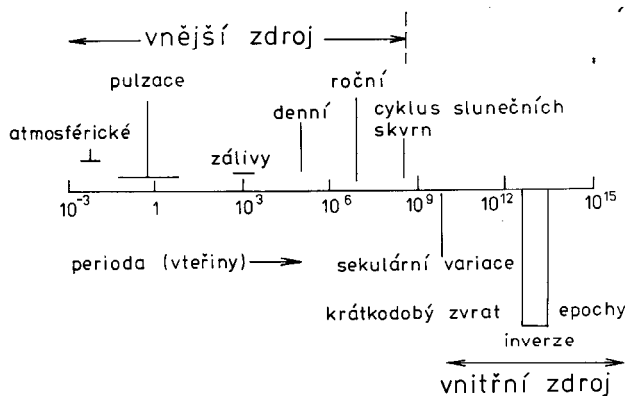
Na denní straně Země, na styku slunečního větru s magnetosférou (obr. 1b), ve vzdálenosti 13 až 14  $r_z$  od povrchu Země, vzniká stojatá rázová vlna, na níž se sluneční plazma stlačuje, zhrubívá a zpomaluje. Tok nabitých částic má sníženou rychlost, je turbulentního (vířivého) charakteru, mění směr a obtéká magnetosféru. Tato tzv. turbulentní přechodová oblast zprostředkovává účinky slunečního větru na magnetosféru. Vnější hranici magnetosféry tvoří magnetopauza o mocnosti asi 100 km. V magnetopauze intenzita magnetického pole prudce poklesne na intenzitu meziplanetárního pole.

Na noční straně Země magnetosféra tvoří protáhlý ohon o průměru kolem 40  $r_z$  a délce až 900  $r_z$ , rozdělený tenkou neutrální vrstvou na dvě části opačné polarity (siločáry magnetického pole se zde neuzavírají). Neutrální vrstva o mocnosti 0,1  $r_z$  je součástí plazmové vrstvy na noční straně. V magnetopauze jsou umístěny neutrální body N, oddělující uzavřené a otevřené siločáry geomagne-



Obr. 1 - Magnetosféra planety Země: a = dosavadní představa o magnetickém poli Země, b = skutečný tvar magnetosféry Země podle měření v kosmu.

tického pole. Při vysoké aktivitě slunečních skvrn se Země může setkat s magnetizovaným plazmatem (vyvrženým ze Slunce z velké skupiny skvrn), které magnetosféru na denní straně přitlačí až do vzdálenosti pouhých  $5 r_z$  od povrchu Země, ohon magnetosféry na noční straně protáhne daleko za  $1000 r_z$ .

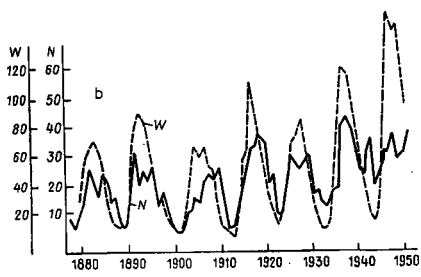


Obr. 2 - Schematické zobrazení frekvencí variací geomagnetického pole.

Země, jako jediná z terestrických planet, má magnetické pole co do intenzity srovnatelné s polem Jupitera a Saturna. Je tomu tak proto, že má velkou rychlost rotace a vysoce vodivé jádro, v němž dochází k diferencní rotaci (rychlost rotace části vodivého jádra se liší od rychlosti rotace Země).

Magnetické pole Země je studováno řadu století, takže máme dobré znalosti o jeho změnách nejen s místem na zemském povrchu, ale i s časem. Změny (variace) magnetického pole s časem (obr. 2) mají periodu měnící se v rozpětí cca dvaceti řádů, od zlomků vteřiny až po milióny let. My se budeme zabývat pouze těmi variacemi, jejichž zdroj je vně zemského tělesa, tj. do periody maximálně  $10^9$  s (stovky let).

Lze považovat za prokázané, že hlavním vnějším zdrojem geomagnetických variací je aktivita Slunce. Podle heliofyzikálních výzkumů má Slunce konvekční zónu sahající do



Obr. 3 - Porovnání sluneční a geomagnetické aktivity: a = znázornění sluneční aktivity Wolfovým číslem W, b = porovnání sluneční aktivity W s počtem magnetických bouří N.

hloubky  $1/3$  slunečního poloměru. Rozsah konvekčních proudů je závislý na poloze Slunce vůči těžišti sluneční soustavy a určuje aktivitu skvrn ve fotosféře Slunce.

Aktivita slunečních skvrn vyjadřovaná tzv. Wolfovým číslem W je zaznamenávána od roku 1700, podle historických pramenů je rekonstruována až do 11. století před Kristem. Při jejím porovnání s počtem magnetických bouří N (obr. 3) vidíme úzkou korelaci jedenáctiletých cyklů.

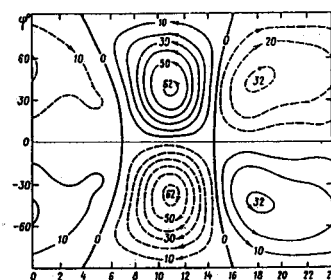
Geomagnetická aktivita má také roční variaci. Ta je způsobena především změnou polohy osy rotace a centrálního magnetického dipólu vůči směru slunečního větru, resp. směru pohybu magnetizovaného plazmatu. Roční variace geomagnetické aktivity je závislá na geografické poloze sledovaného bodu, má však i globální složku.

Geografická závislost roční variace geomagnetické aktivity je dobře patrna z rozdílnosti průběhu elektrických proudů v ionosféře v období rovnodennosti (obr. 4a) a slunovratu (obr. 4b). Tyto proudy jsou v souladu s denními magnetickými variacemi a jsou odezvou změn (proudů) v magnetosféře. Při rovnodennosti jsou vzhledem k rovníku symetrické, při slunovratu výrazně asymetrické. Podstatná je skutečnost, že proudy v ionosféře jsou stabilní vzhledem k místnímu času (horizontální osa na obr. 4) a nemění, stejně jako magnetosféra, svoji orientaci vzhledem ke Slunci.

Pokud se týká globální složky roční variace geomagnetické aktivity, bylo zjištěno, že je maximální při rovnodennosti. Tehdy si jsou směry os rotace Slunce a Země nejbližší. Při rovnodennosti se úhel mezi centrálním magnetickým dipólem a směrem slunečního větru mění s rotací Země v rozmezí  $90 \pm 11^\circ$ . Při slunovratu je toto rozmezí rovno  $67 \pm 11^\circ$ .

Geomagnetická aktivita má i měsíční variaci, související s rotací Slunce (27 dní). Denní variace magnetického pole má složku spojenou jednak s místním časem, což vyplývá z obr. 4, jednak se světovým časem. Složku závislou na světovém čase lze vysvětlit rytmickou změnou úhlu mezi směrem slunečního větru a centrálním magnetickým dipólem (viz výše). Přitom dochází k rytmické změně tvaru magnetosféry.

Podle kosmických i pozemních výzkumů se magnetosféra jeví jako složitá dynamická energie-



Obr. 4 - Elektrické proudy v ionosféře ( $10^3$  A): a = v období rovnodennosti, b = při letním slunovratu.

tická soustava, jejíž parametry (geometrie a intenzita pole) se rytmicky i nepravidelně mění s časem.

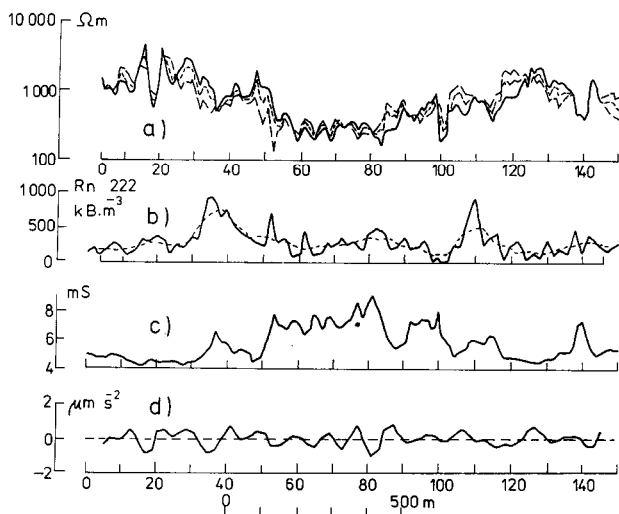
**Magnetosféra (spolu s ionosférou) zachovává stálou orientaci ke Slunci a může být chápána jako stator gigantického dynama, jehož rotorem je planeta Země.**

### Vliv magnetosféry na geochemické procesy

Z kosmických i pozemních magnetovariačních měření je známo, že odezva planety, v našem případě Země, na vnější magnetické pole je závislá na jejich elektrických vlastnostech. V prvním přiblížení reaguje Země na elektromagnetické pole jako vodivá koule, avšak s poloměrem podstatně menším než průměrný poloměr Země. Připovrchová vrstva o mocnosti 500 až 1000 km se chová jako izolátor, potom vodivost o dva až tři řády vzroste a s hloubkou plynule stoupá. Litosféra je z hlediska vodivosti heterogenní (Gruntorád 1992: Detailed geoelectrical measurement on the territory of the Bohemian Massif), vedle kompaktních hornin s odporem dosahujícím až  $n.10^4 \Omega m$  se v ní vyskytují vysoce vodivé oblasti ( $n.10^0 \Omega m$ ), zejména tektonicky oslabené zóny. Tyto zóny jsou různého řádu (globální, kontinentální, regionální, lokální), s rozdílným hloubkovým dosahem a mocností.

Pokles odporu zmíněných zón je podmíněn mírou tektonického porušení, projevující se růstem pórovitosti, měrného povrchu hornin a poklesem hustoty. Voda zaplňující póry je zpravidla vysoce mineralizovaná a má nízký měrný odpor (zlomky  $\Omega m$ ). Podstatná je skutečnost, že vysoký měrný povrch hornin v tektonicky oslabené zóně je příznivý pro uvolňování radonu z hornin difúzí. Roztoky v tektonicky oslabené zóně pak mají zvýšenou radioaktivitu a jsou v odpovídající míře ionizovány. To také vede ke snížení měrného odporu.

Tato fyzikální charakteristika tektonicky oslabených zón (jejich výchozové části) je přesvědčivě doložena komplexním geofyzikálním měřením na mnoha lokalitách. Příklad z lokality Petrovice u Sedlčan je na obr. 5. Mocná zóna se zde projevuje



Obr. 5 - Komplexní geofyzikální profil u Petrovic na Sedlčansku: a = kombinované odporové profilování, b = emanometrie, c = vodivost podle elektromagnetického profilování, d = reziduální tíhové anomálie.

výrazným snížením odporu, růstem vodivosti, minimy reziduálních tíhových anomálií a maximy objemové aktivity Rn-222 (blíží se hodnotě  $10^6 \text{ Bq.m}^{-3}$ ).

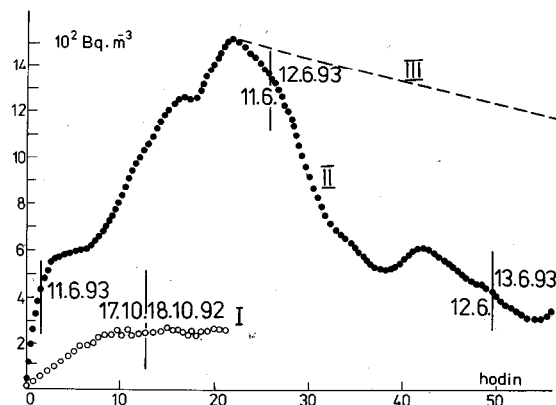
Vliv geomagnetických bouří na umělé lineární vodiče při zemském povrchu je více než 30 let soustavně sledován u kovových technických rozvodných sítí (Albertson, Kappenman 1978: Magnetic Storm Effects in Electric Power Systems). Geomagnetické bouře indukují ve vysokovoltních vedeních proudy různých frekvencí dosahující  $n.10^2 \text{ A}$  a přepětí  $n.10^2 \text{ V}$ . Proudů ( $n.10^2 \text{ A}$ ) indukované geomagnetickou aktivitou byly zjištěny i v kovových potrubích (ropovodech, plynovodech).

Přirozené geologické vodiče si svou podélnou vodivostí nijak nezadají s vodiči umělými. Tak např. podélná vodivost ocelového potrubí s plochou  $450 \text{ cm}^2$  oceli v kolmém řezu je shodná s podélnou vodivostí tektonicky oslabené zóny mocné 5 m, s hloubkovým dosahem 1000 m a měrným odporem prvé jednotky  $\Omega m$ . Podobné tektonicky oslabené zóny jsou v zemské kůře zcela běžným jevem, na mnoha tisících  $\text{km}^2$  území Českého masivu byly geoelektrickými metodami podrobně vymapovány při prospekci na různé typy surovin. Přirozené vodiče v zemské kůře mají převážně iontovou vodivost. Vyskytují se však i zóny s elektronovou vodivostí, jako např. grafitizované či pyritizované břidlice ve vulkanosedimentárních komplexech.

Tektonicky oslabené zóny vytvářejí v zemské kůře síť kontinentálních, regionálních a lokálních vodičů o směrné délce stovky metrů až tisíce kilometrů, s hloubkovým dosahem stovky metrů až desítky kilometrů. V těchto vodičích rotujících v poli magnetosféry a ionosféry je nepřetržitě indukován elektrický proud.

V geologické praxi, při měření tzv. magnetotelurickou metodou (Gruntorád 1985: Principy metod užité geofyziky), je využívána široká škála frekvencí geomagnetických variací. Vysoké frekvence poskytují informaci o elektrických vlastnostech přípoверхových geologických útvarů, nízké frekvence o vlastnostech hlubinných útvarů (včetně astenosféry).

K látkovému přenosu podél vodivých zón na větší vzdálenosti může docházet při prouděch



Obr. 6 - Měření radonmonitorem (Libochovice nad Ohří, čp. 185): I = křivka naměřená při rovnodennosti, II = při letním slunovratu, III = odvozená z poločasu rozpadu Rn-222.

velmi nízkých frekvencí, kdy jsou ionty (např. kationty kovů) přemísťovány elektrickým proudem. Pokud tento jev v litosféře existuje (je podmíněn existencí magnetosféry), mohl v geologické minulosti sehrát významnou úlohu při vzniku např. rudních ložisek geneticky spojených s tektonicky oslabenými zónami, resp. vysoce vodivými grafitizovanými horninami.

Pohyb iontů v tektonicky oslabených zónách litosféry může probíhat v subvertikálním směru a pokračovat v troposféře, která má nad tektonickou zónou zvýšenou ionizaci a vodivost.

Výsledky leteckých atmogeochemických výzkumů ukazují, že atmogeochemické anomálie (He, Hg, Zn, Pb, Cu, As atd.) jsou zjišťovány přesně nad výchozy oslabených zón v různých letových výškách, nezávisle na rychlosti větru. Existují i nad tektonickými zónami překrytými vrstvou vody (moře mezi Skotskem a Norskem, jezero Bajkal atd.) Částice (kationty kovů?) tedy musejí mít značnou energii, kterou mohly získat v „urychlovači“ tvořeném vodivou zónou rotující v poli magnetosféry. Částice se chovají podle teorie relativity, přijímáním energie  $E_0$  roste jejich hmota na  $m + E_0/c^2$ .

V atmogeochemické praxi včetně prací realizovaných na PřFUK bylo zjištěno, že při aktivní sorpci nejsou tyto částice zachycovány na mikrofiltru. Při pasivní sorpci jsou zachycovány iontoměničem, umístěným ve skleněné ampuli.

Předpokládaný jev, tj. výnos nabitých částic z vodivé tektonicky oslabené zóny do ionizované troposféry nad zónou, také usnadňuje výklad relativní stability stacionárního elektrického pole troposféry (gradient  $130 \text{ V}\cdot\text{m}^{-1}$ ). Je překvapivým doplňkem intuitivního modelu stacionárního elektrického pole troposféry (Krajev 1965: Osnovy geoelektriky), uvažujícího na zemském povrchu existenci vybuzených anomálních zón, z nichž je vzhůru do atmosféry předáván koncentrovaný proud kladně nabitých částic.

Model látkového výnosu z tektonicky oslabených zón výše popsaným mechanismem je v souladu i s výsledky posledních kosmických výzkumů (Hubbard 1987: Planetary Interiors). Je předpokládáno, že v planetě s vodivým jádrem a diferenční rotací, procházející magnetizovaným plazmatem, může dojít ke vzniku elektrických proudů, jejichž okruh se uzavírá ve vněplaneárním prostoru (pohybem nabitých částic). Tento

jev je nazván ohmická disipace a je zahrnován jako nová součást do energetické bilance planety.

Pouze látkovým výnosem ze zemského nitra lze vysvětlit korelaci aktivity slunečních skvrn, geomagnetických bouří, radonových bouří a anomální ionizace atmosféry (Šemjizade 1992: Radon i solnečnaja aktivnost). Podobně tomu je i se závislostí variací vodivosti atmosféry na geomagnetickém poli a jeho změnách (Bednář 1989: Pozoruhodné jevy v atmosféře).

Látkový výnos z tektonicky oslabených zón do troposféry lze objektivně charakterizovat atmogeochemií. Je vypracována řada atmogeochemických metod, jejichž citlivost může podle potřeby dosahovat až  $10^{-12} \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Časovou závislost lze zatím sledovat pouze u radioaktivních prvků, např. radonu, který může být průběžně monitorován prostřednictvím dceřiných prvků. Příklady záznamů radonmonitoru jsou na obr. 6 (utěsněný sklep domku Libochovice nad Ohří, Turinského 185). Záznamy byly pořízeny v období podzimní rovnodennosti při klidném magnetickém poli (křivka I), v období letního slunovratu při magnetické bouři (křivka II). Pozoruhodný je řádový rozdíl mezi registrovanými hodnotami, v souladu se závislostí na geomagnetické aktivitě. Zvláštní pozornost však zasluhuje prudký pokles křivky II po dosažení maxima. Pokud by platil předpoklad difúze radonu z podloží, pak by pokles objemové aktivity radonu musel být pozvolný (podobný křivce III odvozené z poločasu rozpadu Rn-222). Je nejvyš pravděpodobné, že prvky registrované radonmonitorem se do obestavěného prostoru dostávají výše popsaným mechanismem látkového výnosu z tektonicky oslabených zón.

*Z poznatků publikovaných v posledních letech v bioteorologické, geochemické, geofyzikální a planetologické literatuře a podle výsledků vlastních výzkumů můžeme usuzovat, že magnetosféra sehrává při látkové výměně v litosféře a troposféře významnou úlohu. Zejména určuje intenzitu, periodičnost i nepravidelnost fyzikálních (vodivost a ionizace atmosféry, změny elektromagnetického pole), chemických (pohyb látek v litosféře a jejich výnos do troposféry) a fyzikálně chemických (ionizace roztoků, přítomnost aniontů a kationtů) jevů v litosféře a přívěrovchové troposféře. Tyto jevy jsou zvlášť výrazné uvnitř vodivých tektonicky oslabených zón v litosféře a v troposféře nad nimi. V troposféře nad zónami dochází k zesílení, zkreslení a polarizaci elektromagnetických polí, k růstu ionizace a vodivosti atmosféry, ke zkreslení stacionárního elektrického pole atmosféry, jsou přítomny výrazné, s časem se měnící atmogeochemické anomálie.*

**Vážení čtenáři a spolupracovníci,  
děkujeme za dosavadní spolupráci autorům i členům redakční rady a všem spolupracovníkům. Sdělujeme, že časopis Geologický průzkum se spojil s časopisem Uhlí Rudy, a to od 1. 1. 1994 a redakce sídlí na adrese: Škrétova 6, 120 59 Praha 2, tel.: (02) 242 15 373, 1. 13, 38.**

**Těšíme se na spolupráci. Redakce**