

Vzťah geodynamických javov k neotektonickým štruktúram v centrálnych Západných Karpatoch

RUDOLF ONDRAŠIK

Katedra inžinierskej geológie PF UK, Mlynská dolina, 842 15 Bratislava

Doručené 7. 1. 1988

Отношение геодинамических явлений к неотектоническим структурам Центральных Западных Карпат

Куполовидный подъем земной коры в Центральных Западных Карпатах воспроизвело особые гравитационные тектонические структуры с большой вертикальной дифференциацией рельефа и с интенсивным развитием геодинамических явлений, которые контрастно влияют на инженерно-геологические условия территории. Новые результаты геофизической разведки литосферы позволили предложить кинематическую модель впадиновых структур и на этой основе переоценить результаты инженерно-геологической разведки в связи с контрастными геодинамическими явлениями и эти обобщить на основании объяснения их отношения к неотектоническим структурам.

Relation between geodynamic phenomena and neotectonic structures in the Central West Carpathians

Vaulting of the Earth's crust in Central West Carpathians induced peculiar gravitational tectonic structures resulting in strong altitude differentiation of the relief and caused intensive development of geodynamic phenomena what pronouncedly influences engineering geological conditions of the territory. Recent results of geophysical investigations of the lithosphere allow to create a kinematic model of basin structure development and, on this base, to reevaluate the gained knowledge from engineering geological survey of important geodynamic phenomena. Geodynamic phenomena are then generalized on the base of their relations with neotectonic structures.

Názvom neotektonické označujeme také štruktúry, ktoré podmienili základné rysy súčasného reliéfu. Na území Západných Karpát sa k nim priradujú štruktúry formujúce sa od bádenu až do súčasnosti, t. j. za posledných asi 15 miliónov rokov. Neotektonické štruktúry vyšších úrovní s rozdielnym režimom vertikálnych pohybov

sa stali i základom morfoštruktúrneho členenia Západných Karpát a kritériom na vyčlenenie inžinierskogeologických oblastí (Matula, 1965).

Matula poukázal i na vzájomnú spätosť geodynamických javov a celkovú závislosť exogénnych geodynamických javov na neotektonickom vývoji. Kinematika vývo-

ja neotektonických štruktúr však nebola doteraz uspokojivo objasnená.

Najnovšie výsledky geofyzikálneho výskumu litosféry na území Západných Karpát (CNCG, 1979; Blížkovský et al., 1986) opodstatňujú predpokladaf, že všetky pripovrchové neotektonické štruktúry sú súčasťou rádove vyšších štruktúr zemskej kôry (primárne tektonické štruktúry). Primárne neotektonické štruktúry v centrálnych Západných Karpatoch súvisia s celkovým klenbovým výzdvihom zemskej kôry v panónskej oblasti, ako o tom svedčí priebeh Moho diskontinuity (Beránek, Zounková in CNCG, 1979, s. 105—111), ale tiež s lokálnymi vyklenutiami kôry, ktoré sú dobre pozorovateľné na seizmickom profile litosféry K III cez Západné Karpaty (Beránek, Leško, Mayerová in CNCG, 1979, s. 201—205). Odrážajú sa i v recentných pohyboch pcvrchu na území Západných Karpát (Kvitkovič, Plančár in CNCG, 1979, s. 193—200).

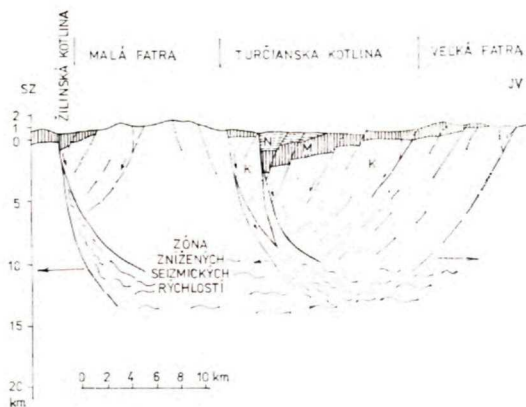
Klenbový výzdvih vyvoláva v kôre ťahové napätie. Za predpokladu existencie plastickej zóny v zemskej kôre, zodpovedajúcej zóne znížených rýchlostí šírenia seizmických vln v hĺbkach 10 až 20 km (Anderson et al., 1983; Nikolajevskij, 1987), sa ťahové napätie prejaví spojitým roztiahnutím a stenčením plastickej zóny. V jej nadloží sa ťahové napätie prejaví krehkým porušením a rozpadom kôry na bloky. Spolupôsobením ťahového napätia a gravitácie dochádza k vzniku zlomov. V pripovrchových častiach kôry, kde je nízke napätie a výrazne prevláda vertikálna zložka napätia nad horizontálnou, sú zlomy strmo uklonené. So vzrastajúcou hĺbkou napätie rastie a vzrastá i podiel horizontálnej zložky napätia. V plastickej zóne sa horizontálna zložka vyrovnáva s vertikálnou. V súvislosti s tým sa s hĺbkou zmierňuje sklon zlomov, vzrastá ich mocnosť a postupne splyvajú s plastickou zónou. Pokra-

čujúce rozťahovanie kôry má za následok pohyb po takto vzniknutých listrických zlomoch, ktorý sa prejavuje poklesom blokov v nadloží zlomov, často s ich naklonením proti smeru pohybu, vznikom hrastov a depresii rôzneho tvaru (Stewart, 1971). Takto vzniknuté tektonické štruktúry sú označené ako sekundárne alebo gravitačné.

Na tomto princípe sa dá vysvetliť i vznik kotlinových štruktúr centrálnych Západných Karpát a lokálne depresie v horských oblastiach.

Na základe zhodnotenia údajov o geologických pomeroch (Maheľ, Buday et al., 1985; Ondrášik, 1984, 1985) a najnovších výsledkov geofyzikálneho prieskumu litosféry v profile K III (Mayerová, Novotný, 1986 in Blížkovský et al., 1986, s. 169—173) bolo možné zostaviť kinematický model Turčianskej kotliny (obr. 1), ako najvýraznejšej kotlinovej štruktúry v centrálnych Západných Karpatoch.

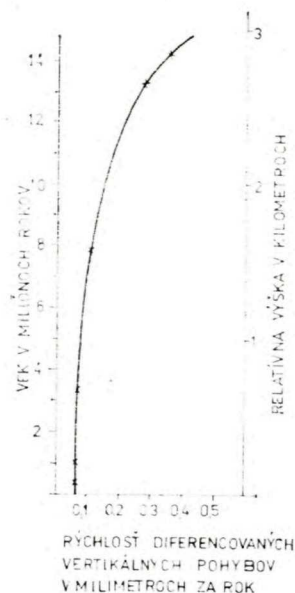
Neotektonická aktivita v centrálnych Západných Karpatoch mala svoj vrchol v neogéne, ale pretrváva i v kvartéri. Na



Obr. 1. Schematický kinematický model vývoja Turčianskej kotliny. K — kryštalinikum, M — mezozoikum, N — mladý neogén.

Fig. 1. Schematic kinematic model of the Turčianska kotlina basin. K — crystalline, M — Mesozoic, N — Late Neogene.

základe analýzy geologických a geomorfologických údajov z viacerých štruktúr priemerná rýchlosť diferencovaných tektonických pohybov pozdĺž zlomov predstavuje rádovo tisíciny až desatiny milimetra ročne. Na obr. 2 je príklad analýzy rýchlosti diferencovaných pohybov medzi Malou Fatrou a Turčianskou kotlinou.

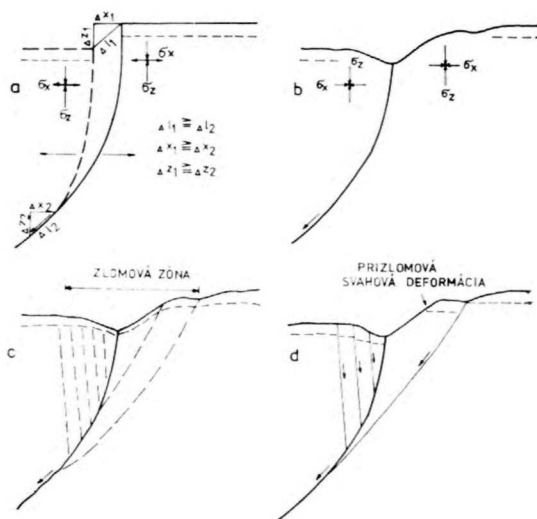


Obr. 2. Graf vývoja diferencovaných tektonických pohybov zostavený na základe porovnania výškových rozdielov geologických a geomorfologických úrovní v pohorí Malá Fatra a v Turčianskej kotline z rovnakého časového obdobia mladšieho neogénu a z kvartéru.

Fig. 2. Plot of differentiating tectonic movements compiled from compared differences in altitudes of geological and geomorphological levels in the Malá Fatra Mts. and the Turčianska kotlina basin for the same time span (Late Neogene to Quaternary).

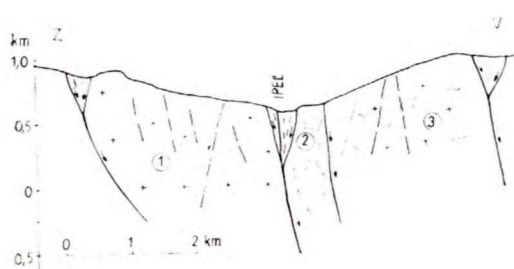
Na diferencované pohyby blokov vrchnej časti zemskej kôry sa viažu i ohniská zemetrasení, ktorých hĺbka v centrálnych Západných Karpatoch zriedka presahuje 10 km (Zátopek in CNCG, 1979, s. 91–104).

V súvislosti s pohybmi po litrických zlomoch vzniká v ich pripovrchovej časti ťahové napätie v horizontálnom smere (obr. 3a). V súčinnosti s pôsobením tiaže dochádza k prizlomovým deformáciám charakteru zbridičnatenia (obr. 3c) alebo čiastkovým zlomom a k prizlomovým svaňovým deformáciám (obr. 3d). Počas pohybu sa roztvárajú pukliny a voda, roztoky i s klastikami zatekajú z porušených stien puklín, ako to bolo pozorované napr. v zlomových poruchách granitoidov veporského kryštalinika v údolí Ipľa (Ondrášik et al., 1987). Na oslabených poruchových zónach sa uplatnila i povrchová erózia, ktorá zvýraznila vznikajúce depresie



Obr. 3. Schéma listrického zlomu. a — vzťah horizontálnych (σ_x) a vertikálnych (σ_z) napätí počas pohybu o Δl_1 , b — napätia v blízkosti listrického zlomu po pohybe, c, d — možné prípady deformácie hornín v okolí pripovrchovej časti listrického zlomu.

Fig. 3. Scheme of a listric fault. a — relation between horizontal (σ_x) and vertical (σ_z) stress during motion amounting Δl_1 , b — stress distribution near the listric fault after the motion, c, d — possible cases of rock deformation around surface-near part of the fault.



Obr. 4. Schematický profil údolím Ipeľa v priestore projektovanej prečerpávacej vodnej elektrárne PVE Ipeľ. 1 — granodiorit, 2 — podvrvené a zbridličnaté granodiority muránsko-divínskej regionálnej zlomovej zóny, 3 — blastomylonity a migmatity.

Fig. 4. Schematic profile of the Ipeľ valley in the area of planned pumped storage power plant PVE Ipeľ. 1 — granodiorite, 2 — crushed and foliated granodiorite along the regional Muráň — Divín fault zone, 3 — blastomylonite and migmatite.

(obr. 4). Po hlboko založených zlomových zónach dochádza k výstupu agresívnych roztokov a plynov z hlbokých štruktúr, ktoré sa pri povrchu kontaminujú s vodami vadózneho pôvodu. Prúdiaca voda v zlomových zónach spôsobuje rozklad jemných frakcií a umožňuje vznik ílových minerálov. Ťažko posúdiť, ktoré produkty rozkladu vznikli na mieste a ktoré boli do poruchy vplavené z okolia. Neklamným dôkazom zanášania puklinového priestoru zlomových porúch je prítomnosť organických hĺn v niektorých zlomových poruchách v granitoidoch.

Po doznení pohybů sa uvoľnený materiál porúch postupne konsoliduje. Zóny s voľným puklinovým priestorom sa stávajú kolektormi a cestami prúdenia podzemnej vody, zóny s ílovitou výplňou, naopak, vytvárajú bariéry pre puklinové vody.

V niektorých prípadoch vznikajú listrické zlomy s náklonom nadložných poklesávajúcich blokov v ťahových zónach v rámci sedimentárnych komplexov, napr.

v podzákladi hrádze Krpeľany (obr. 5) v SV výbežku Turčianskej kotliny.

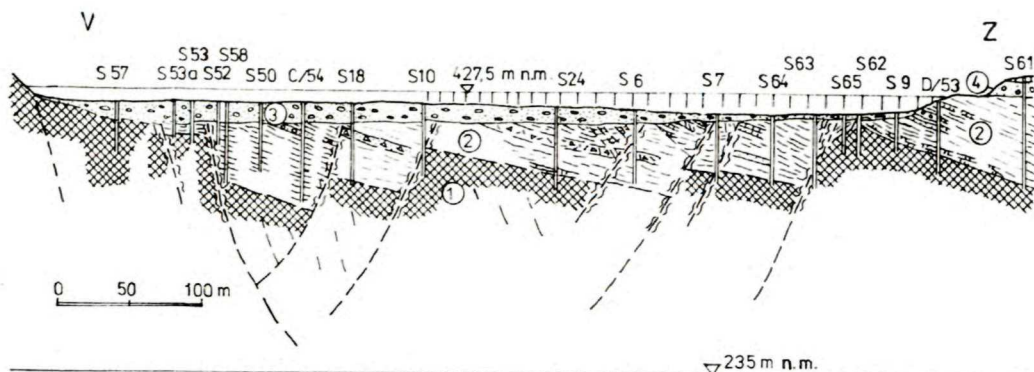
Zlomy predstavujú širokú zónu so zložitou stavbou a s prejavmi parciálnych pohybů. Na ich povrchu ležiace plastické sedimenty sa týmto parciálnym pohybom prispôbujú vlačne plasticky. Pritom dochádza k ich nakloneniu paralelne s povrchom podložia (obr. 6). V komplexe slieňovcov tu došlo k budinácii polôh rigidných pieskocov a zlepcov.

Na relatívne poklesávajúcich blokoch sa okrem pokryvných útvarů môžu zachovať i mocné elúviá (10 až 20 m, prípadne i viac) a môže dôjsť aj k ich pochovaniu. Na relatívne vystupujúcich blokoch, naopak, eroduje zvetraný povrch a obnažujú sa navetrané alebo nezvetrané horniny.

Na zlomoch oddeľujúcich hrast od depresie dochádza k lomu spádovej krivky toků a k sedimentácii náplavových kužeľů (obr. 6), ktoré sa spájajú do súvislých podhorských prolúvií viacerých generácií. Zistená mocnosť prolúvií v podhorí Malej Fatry v Turčianskej kotline dosahuje až 34 m (Füssgänger, Jadroň et al., 1975), v doline Ipeľa až 35 m (Matejček, 1985).

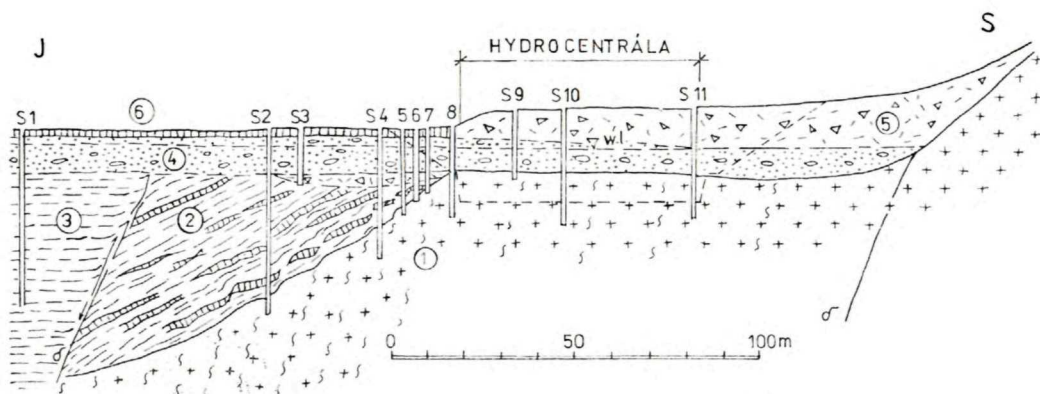
Na svahoch sekundárnych tektonických štruktúr dochádza k rôznym typom rôzne veľkých gravitačných pohybů. Významné miesto zaberá najmä plazivý pohyb uklonených súvrství sedimentů z horských svahů do kotlin po plastických ílovcových a slieňovcových polohách (obr. 7). Tieto rozsiahle gravitačné pohyby horských svahů sprevádzajú najrôznejšie typy povrchových zosunů. Povrchové zosuvné štruktúry slovenských Západných Karpát súborne spracoval Nemček (1982).

Gravitačný pohyb horninových mäs vyvoláva v horných častiach elevačných štruktúr ťahové napätie s prejavmi uvoľnenia a v dolných častiach svahů a v priľahlých častiach depresii zvýšenie horizontálneho napätia. Svedčí o tom napr. násun



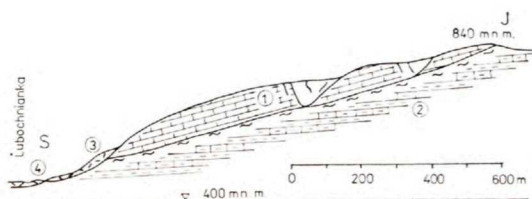
Obr. 5. Geologický profil v osi hrádze krpelianskej údolnej priehrady v Turčianskej kotline na rieke Váh upravený podľa Zárubu (1964). 1 — dolomity triasu, 2 — flyšové súvrstvie paleogénu, 3 — kvartérne fluválne sedimenty Váhu.

Fig. 5. Geological section along the dam axis of the Krpelany valley dam on the Váh river, Turčianska kotlina basin according to Záruba (1964), modified. 1 — dolomite, Triassic, 2 — flysch sequence, Paleogene, 3 — fluvial sediment of the Váh river, Quaternary.



Obr. 6. Geologický profil v osi hydrocentrály Lipovec na derivačnom kanáli Váhu v Turčianskej kotline upravený podľa Pašeka (1959). 1 — granodiority prestúpené čiastkovými zlomami s prejavmi zbridičnenia a drvenia, 2 — slieňovce s vrstvami pieskovca a zlepenca (báden), 3 — slieň, íly a sily mladšieho neogénu, 4 — kvartérne fluválne piesčité štrky Váhu, 5 — slabo vytriedené hlinité štrky prolúviálnych kužeľov horských bystrín, 6 — povodňové piesčité hliny v údolnej nive Váhu (čiarkovane je vyznačená základová jama hydrocentrály), S 1 až S 11 — vŕtané sondy.

Fig. 6. Geological section along the axis of the Lipovec hydroelectric power station on the Váh river diversion channel, Turčianska kotlina basin according to Pašek (1959), modified. 1 — granodiorite faulted along partial faults, foliated and crushed, 2 — marlstone with sandstone and conglomerate layers, Badenian, 3 — marl, clay and silt, Late Neogene, 4 — fluvial sandy gravel of the Váh river, Quaternary, 5 — poorly sorted loamy gravel in proluvial cones of mountain streams, 6 — sandy flood gravel in the Váh river alluvial plain (dashed line shows the foundation ditch of the power station), S 1 to S 11 — drill holes.



Obr. 7. Schematický profil plazivou svahovou deformáciou na svahoch Veľkej Fatry južne od Lubochne. 1 — vápence a dolomity chočskej jednotky, ktoré sú v plazivom pohybe po násunovej línii na strednokriedových slieňovcoch, 2 — neokóm križňanskej jednotky, 3 — svahové hliny v čele plazivej deformácie, 4 — fluviálne štrky údolnej terasy Lubochňanky.

Fig. 7. Schematic profile of a slope deformation creep along the slopes of the Veľká Fatra Mts. southerly from Lubochňa. 1 — limestone and dolomite, Choč unit, occurring in creep movement over a thrust surface on Middle Cretaceous marlstone, 2 — Neocomian, Križna unit, 3 — slope loam in the front of the creep, 4 — fluvial gravel of the Lubochňa brook valley terrace.

podložných paleogénnych flyšových komplexov na kvartérny fluviálny štrk v základnej jame údolnej priehrady v Turčianskej kotline (Záruba, 1964). Podobnú povahu má aj deformácia a pohyb hornín do 11 m hlbokého železničného zárezu v paleogénnom flyšovom komplexe v Bánovskej kotline s následným zosunutím svahu počas jeho hĺbenia (Mencl, 1971).

Vznikajúce lokálne depresie v kotlinách a nížinách sú často silne podmáčané a vyskytujú sa i močaristé územia. V poklesávajúcich podmáčaných územiach sa neustále hromadia jemnozrnné sedimenty s organickým materiálom, čo spôsobuje, že v priepustných polohách v ich podloží sa vyskytujú podzemné vody s napätou hladinou. Existencia napätej hladiny veľmi sťažuje odvodnenie týchto území.

V karbonátových komplexoch sú na zlomové zóny viazané výrazné povrchové i podzemné krasové javy. Pozdĺž zlomov dochádza i k prepojeniu karbonátových súvrství oddelených vrstvami nekrasova-

tejúcich sedimentov, čo bolo príčinou opustenia celého radu ináč vhodných profilov údolných priehrad v mezozoických útvaroch. Na zlomových zónach vznikajú lineárne usporiadané povrchové i podzemné krasové javy i v ináč málo rozpustných silicifikovaných vápencoch a dolomitoch, ako to bolo zistené napr. v podzákladi hornej nádrže prečerpávacej vodnej elektrárne na Čiernom Váhu (Nevický, 1980).

Poznanie uvedených vzťahov medzi inžinierskogeologickými významnými geodynamickými javmi a neotektonickými štruktúrami rôznych úrovní zefektívňuje hodnotenie inžinierskogeologických podmienok výstavby náročných inžinierskych stavieb, ako sú jadrové elektrárne, prečerpávacie vodné elektrárne, tunely a pod. Je nevyhnutné najmä v počiatočných etapách projektovania, ako aj pri plánovaní prieskumných prác pre vyššie etapy projektovania a pri interpretácii výsledkov prieskumu.

Literatúra

- Anderson, R. E., Zoback, M. L., Thompson, G. A. 1983: Implication of selected subsurface data on the structural form and evaluation of some basins in the Northern Basin and Range Province, Nevada and Utah. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 94, 1055—1072.
- Blížkovský, M. et al. 1986: Geofyzikální model litosféry. [Závěrečná správa úlohy OFTR-ČGÚ č. 82—160.] Brno — Praha.
- C N C G (Czechoslovak National Committee for Geodynamics) 1979: Geodynamic investigation in Czechoslovakia, Final Report. Bratislava, Veda, 281 s.
- Fussgänger, E., Jadroň, D. et al. 1975: Turany — prieskum zosunu. [Závěrečná správa.] Manuscript — IGHP Žilina.
- Maheľ, M., Buday, T. et al. 1968: Regional Geology of Czechoslovakia, part II. The West Carpathians. *Praha, Academia*, 723 s.
- Matejček, A. 1985: Výsledky inžinierskogeologického prieskumu na lokalite PVE Ipeľ. In: *Inženýrska geológia a energetická výstavba. Sborník prednášok*. Brno, ČSVTS, Dom techniky, 35—43.
- Matula, M. 1965: Regional Geology of Czechoslovak Carpathians. Bratislava, SAV.
- Mencl, V. 1965: Stability of slopes. In: Dis-

- cussion Proceed. Internat. Conf. Soil. Mech. Found. Eng., Montreal, 3, 550—551.*
- Nemčok, A. 1982: Zosuvy v Slovenských Karpatoch. *Bratislava, Veda, 318 s.*
- Nevický, V. 1980: Dutiny pod dnom hornej nádrže prečerpávajúcej vodnej elektrárne Čierny Váh. *Miner. slov., 12, 343—350.*
- Nikolajevskij, V. N. 1987: Volnovody zemnej kory. *Priroda, No. 7, 54—60.*
- Ondrášik, R. 1984: Neotektonické pohyby a ich význam pre hodnotenie inžiniersko-geologických pomerov. In: *Zborník prednášok inžinierskogeologického sympózia. Bratislava, 23—34.*
- Ondrášik, R. 1985: Engineering geological aspects of the structural form and neotectonic evolution of some basins in the Western Carpathians. In: *Proceedings reports of the XIII-th Congress of KBGA, part II. Cracow, 446—448.*
- Ondrášik, R. 1985: Vplyv neotektonických pohybov na výstavbu vodných diel v Strečnianskom prelome. *Miner. slov., 17, 5, 466—470.*
- Ondrášik, R., Hovorka, D., Matejček, A. 1987: Prejavy muránsko-divínskej zóny vo veporskom kryštaliniku v štolni PVE Ipeľ. *Miner. slov., 19, 29—44.*
- Pašek, J. 1959: Engineering geological conditions of the layout of the Sučany-Lipovec Canal. *Rozpr. Čs. Akad. Véd, R. mat. příř. Véd, 69, 4, 3—45.*
- Stewart, J. H. 1971: Basin and range structure: A system of horsts and grabens by deep-seated extension. *Geol. Soc. Amer. Bull., 82, 1019—1044.*
- Záruba, Q. 1964: Geologische Erfahrungen beim Bau der Wasserkraftanlagen an der Váh (Waag). *Österr. Wasserwirtsch., 16, 11—12, 262—270.*

Relation between geodynamic phenomena and neotectonic structures in the Central West Carpathians

The knowledge of relations between important engineering geological geodynamic phenomena and the neotectonic structures of various levels allows to evaluate engineering geological conditions of constructions for such objects as atomic power stations, pumped storage power plants, tunnels and others already in early stages of construction together with the design of investigation work needed and the evaluation of accomplished engineering geological survey. The solution of such problem needs to explain development kinetics of secondary neotectonic structures. Approaches toward such solution are setting out from the re-evaluation of existing knowledge gained from engineering geological survey and from surficial geological structures (Maheľ, Buday et al., 1968) as well as from results of geophysical investigations of the lithosphere (CNCG, 1979; Blížkovský et al., 1986). Such examples are illustrated on the example of the Turčianska kotlina basin and the upper Ipeľ valley.

For the case of deuterio tectonic structures developing upon primary vaulting of the crust there is an important condition that a plastic zone should exist in the crust corresponding to the low velocity channel in 10—20 km depth (Anderson et al., 1983; Nikolajevskij, 1987) in which the tensile stress is expressed by plastic expansion. To the contrary, brittle deformation characterizes

the crust over this channel where listric faults, normal faulting and tilting of block units described by Stewards (1971) are developing.

This principle is used for the model of kinematic development in the area of the Turčianska kotlina basin (Fig. 1) and the Ipeľ valley (Fig. 4). In favour of such kinematic model speaks also that earthquake centres in Central West Carpathians rarely occur deeper than 10 km.

The velocity of neotectonic movements is illustrated by the plot of Fig. 2. The development of deformation along a listric fault is schematized in Fig. 3. Examples of engineering geological survey upon surficial parts of listric faults in the Turčianska kotlina basin are in Figs. 5 and 6.

Neotectonic structures assembly slope movements which have regionally and by typology been evaluated by Nemčok (1982). Moreover, even gravity movements of entire mountain slopes into the nearby basins are developing as registered in Fig. 7. In the result of gravity movements in upper parts of slopes also looseness phenomena (concentration reducing) are developing whereas in the nearby basinal parts the horizontal stresses are increasing and thrusts are developing as the examples mentioned by Záruba (1964) or even slope deformations in deep cuttings reported by Mencl (1971).