

ANTONÍN IVAN

## PROTIKLADNOST A SPOLUPŮSOBENÍ ENDOGENNÍCH A EXOGENNÍCH GEOMORFOLOGICKÝCH PROCESŮ

A. Ivan: *Contradiction and Cooperation of Endogenous and Exogenous Processes in Geomorphology*. — Sborník ČSGS, 92, 1, p. 38—48 (1987). — The simple concept of contradictory endogenous and exogenous forces has become insufficient for the present geomorphology. The relationships are very complicated, both forces acting often in the same direction. Some new concepts appeared recently, e. g. the concept of the lithodynamic flow and the concept of the endodynamics. The complexity of the whole problem is well shown in this paper discussing the importance of gravitation, impact craters, the genesis of kaolins, accumulations of angular debris, and the origin of river valleys.

### 1. Úvod

Reliéf zemského povrchu je modelován širokým souborem geologických a geomorfologických procesů, které se tradičně dělí na endogenní neboli vnitřní a exogenní neboli vnější. Endogenní procesy mají zdroj energie v zemské kůře a plášti a vytvářejí výškové rozdíly v reliéfu nutné pro činnost procesů exogenních. Zdrojem jejich energie je sluneční záření, zároveň však využívají potenciální energii danou právě výškovými rozdíly. Jejich vlastní činnost směřuje k tomu, aby tyto rozdíly vyrovnaly.

Toto dělení, stejně jako předpoklad výlučně protikladného působení obou druhů procesů, se datuje prakticky od začátků moderní geomorfologie. Stále více se však ukazuje, že toto striktní dělení je nadměrným zjednodušením velmi složitého problému. Je např. izostatický zdvih pevniny způsobený denudací hornin nebo zánikem ledovce čistě endogenní jev? Kam máme zařadit takové jevy, jakými jsou vyvolaná zemětřesení nebo impaktní krátery? Zdá se, že někteří badatelé si byli této složitosti vědomi. Např. A. Holmes (20) ve své obsáhlé učebnici rozdělení na endogenní a exogenní procesy hned na začátku uvádí, dále je však v knize již nenajdeme.

Není tedy divu, že v posledních desetiletích se začalo rýsovat nové pojetí. Jeho podstatu formuluje A. N. Florensov (18) takto: „jestliže tedy klasická geologie a geomorfologie objevily, že existence vzájemného protikladného působení endogenních a exogenních sil vede k vytváření nerovností jedněmi a jejich zarovnávání druhými, pak v současné době je přijatelnější následující formulace: existence geologických a geomorfologických jevů, tj. jevů v zemské kůře a na jejím povrchu, spočívá v oběhu látek a energie mezi zemským povrchem a zemským nitrem. Tento oběh se uskutečňuje dvěma systémy cest tvořících jediný koloběh neboli litodynamický tok“.

Uvedené dva systémy jsou vzestupná a sestupná větev litodynamického toku. První znamená přenos hmoty a energie k zemskému povrchu endogenními procesy. Sestupná větev zahrnuje zvětrávání, erozi, transport, sedimentaci, statickou metamorfózu a počínající granitizaci. Řadou podobných otázek se zabývá inspirující teoretická studie I. F. Zupkova [44].

Nový přístup k této problematice nacházíme také ve francouzské geomorfologii. J. Demangeot (13) navrhl pro soubor sil endogenního původu, které vedou k fragmentaci hornin údolních svahů, termín endodynamika. Výslovně upozorňuje, že vzniklé úlomky nelze zaměňovat za produkty mrazového zvětrávání. Zdá se, že se jedná o vhodný koncepční termín, za zbytečné však lze považovat omezení endodynamiky pouze na údolní svahy. Patří sem i jevy vznikající v důsledku odtižení (exfoliace) a další jevy spojené se změnami napětí v horninách (P. Birot, 5).

Tyto změny pojetí endogenních a exogenních procesů mají hlubší příčiny, které zasahují daleko za rámec geologie a geomorfologie. Jsou součástí změn ve vědeckém myšlení a nazírání na přírodu, jejichž výsledkem jsou tak rozdílné koncepce jako systémová teorie, tektonika litosférických desek a environmentalismus.

V obecnější rovině a širším časovém pohledu tento nový trend velmi výstižně charakterizuje S. Pyne (37): „Zatímco vědcům poloviny minulého století imponoval vývoj organismů, v polovině 20. století, s jeho systémovou teorií a kybernetickými modely, přitahují pozornost mechanismy řízení a autoregulace systémů (tj. zpětná vazba) ... Zatímco v polovině minulého století fascinoval vývoj, entropie a postupný nezvratný rozpad a růst systémů, jsme v polovině našeho století zaujati matematicky definovanou informací jako negativní entropií, která je měřítkem hodnoty struktury systému. Podobným způsobem došlo v Evropě ke zvratu v historické zkušenosti trvající čtyři století. Evropa kolonie spíše ztrácí než získává, a to právě v době, kdy se biologie a geologie zabývají problémy kontrakce při hodnocení prostoru a času a ztrátami přírodních druhů a krajín spíše než objevováním nových. Na tyto podmínky reagovalo odpovídajícím způsobem i vědecké myšlení. Např. tektonika litosférických desek, podobně jako ekologie, spíše než růst materiálů zdůrazňuje jejich koloběh a její časová škála se opírá více o oscilace magnetických zvratů než o rozvětřující se strom evoluce.“

Nové pojetí vztahů endogenních a exogenních sil, jak je naznačil A. N. Florensov (18) je jistě výstižné. Musíme si však položit otázku, dostačuje-li plně potřebám současné geomorfologie. Existují jevy a tvary, které lze do současných klasifikačních schémat zařadit jen obtížně, nebo na nichž se podílejí oba druhy sil, působících ve stejném směru. Běžně se setkáváme s rysy konvergence a ekvifinality. Zdá se proto, že pro vysvětlení geneze reliéfu zemského povrchu bude třeba studium vztahů mezi oběma druhy procesů ještě více prohloubit a že jejich poznání bude jednou ze základních součástí obecné teorie geomorfologie, kterou tato věda v moderním pojetí stále ještě postrádá. Uzlovými body jsou zřejmě přechod ze sestupné větve litodynamického toku do větve vzestupné, který je záležitostí geologickou, a přechod ze vzestupné větve do sestupné, ke kterému dochází na zemském povrchu a který spadá do oboru geomorfologie.

Na problémy, které bude třeba i z geomorfologického hlediska dále

propracovat, ukazuje práce I. F. Zupkova (44). Ten považuje v geologickém materiálním systému za základní protiklad mezi pevným a tekutým skupenstvím, jejichž jednota a protikladnost v zemské kůře jsou zdrojem pohybu a vývoje. Geologické procesy dělí na ty, v nichž převládá odpuzování (denudace, difuze látek, magmatismus, vulkanismus), a na procesy s převládáním přitažlivých sil (sedimentace, smršťování, konsolidace difuzních látek, dynamometamorfoza). Obě skupiny zahrnují jak endogenní, tak exogenní procesy.

S těmito otázkami souvisí dále docenění úlohy vody v litodynamickém toku. Tato úloha je dobře známa v dílčích procesech jako říční eroze, transport, magmatismus a metamorfismus, zůstává však nedocněna jako celek. Podle I. F. Zubkova (44): „Analýza dějin objektu geologie potvrzuje, že jeho vznik je spojen se vznikem hydrosféry na naší planetě, s rozdělením na vodstvo a pevninu. Až od tohoto okamžiku vzniká nejdůležitější složka geologického systému — tekoucí voda a výsledek její činnosti, usazeniny. Možno říci, že ani bez jedné z nich si nelze plnohodnotnou existenci geologického systému představit.“

## 2. Gravitační energie

Gravitace je z hlediska vývoje tvarů reliéfu nezávislá geofyzikální veličina. Na rozdíl od většiny exogenních sil, k nimž je často zařazována, působí trvale a měla zásadní význam již v předgeologické etapě vývoje Země, při jejím vzniku a látkové diferenciaci. Gravitace ovlivňuje všechny geologické a geomorfologické procesy, a proto ji nelze řadit pouze k exogenním nebo endogenním silám. Míra jejího uplatnění je ovšem různá. Termín gravitační se objevuje jak v klasifikaci geologických struktur (gravitační tektonika), tak v charakteristice a výkladu některých geomorfologických procesů, zejména svahových. Spíše než o rozdílný mechanismus se mnohdy jedná o různý rozsah studovaných struktur a jevů. Např. W. R. Jacoby (25) vidí analogii mezi sesuvy a některými druhy pohybu litosférických desek, u nichž příkládá velký význam právě gravitační nestabilitě. Proto je někdy obtížné vést mezi endogenními a exogenními jevy a tvary přesnou hranici.

Jevy a tvary reliéfu, při nichž má gravitace zvláště velký význam, lze rozdělit do několika skupin:

1. Pohyby pokryvných útvarů (creep, soliflukce), náležející převážně do skupiny ploužení; považují se za exogenní procesy.
2. Laviny a většina sesuvů (sesouvání, stékání, řícení); mají kratší trvání, větší dosah a nejednou i katastrofické účinky; chápou se jako procesy exogenní dynamiky.
3. Hluboké deformace horských svahů. Podle J. Rybáře (38) mohou pomalé deformace způsobené gravitací zasahovat do hloubek až několika set metrů. V reliéfu jsou většinou méně nápadné. Četné příklady uvádí ze Západních Karpat A. Nemčok (35). V kerném reliéfu okolí Brna jsem zjistil tvary, které jsem označil jako tektonicko-gravitační struktury. Vznikly uplatněním tahových napětí v silně tektonicky porušeném platformním základu při neotektonických zdvizích (A. Ivan, 24).
4. Tektonické příkrovy vzniklé gravitačními skluzy; pohyby jsou velmi pomalé a vzniklé struktury se považují za produkt endogenních sil.

5. Příkopové (riftové) struktury, vznikající hlavně ve vrcholových částech kleneb, v poli napětí, kde svislá (gravitační) složka má největší hodnotu; považují se za endogenní.
6. Kaldery vzniklé poklesy po vyprázdnění magmatického krbu; tímto způsobem mohou vznikat i některé krátery.

Gravitace má však ještě další aspekty. Tektonické zdvihy působí proti směru tíže. Velikost zdvihu závisí jednak na vnitřních zdrojích energie v kůře a plášti, jednak na gravitaci. Jak případně uvádí J. Adams (1), bez zásahu jiných sil by tektonický zdvih zastavila gravitace. S gravitací souvisí také jevy spojené s existencí hustotních rozdílů (výstup magmatu, solné diapiry).

Další aspekty představují vztahy mezi gravitací a izostazi, v nichž hraje také důležitou úlohu hydrosféra. I. F. Zubkov (44) poukázal na skutečnost, že izostatická rovnováha (vyplývající z Archimédova zákona) a gravitační rovnováha (rovnováha geoidu) jsou základní rovnováhy geologického systému. Jsou ve vzájemném protikladu, neboť obnovení gravitační rovnováhy znamená narušení rovnováhy izostatické a naopak. V izostatických pohybech se uplatňují změny v zatížení kůry způsobované na jedné straně přitížením sedimenty, vznikem ledovců a zdvihy mořské hladiny, na druhé straně odtížením denudací, deglaciací a poklesy mořské hladiny.

U exogenních procesů se hodnota tíhového zrychlení objevuje v rovnicích pro výpočet proudění vody v řece, transport sedimentů, pohyb ledovců aj. Jeho význam lze dobře demonstrovat na jevech kosmické geologie. Na základě kosmických snímků popsal B. K. Luchitta (33) na Marsu skalní říční, která svými rozměry přesahuje všechny podobné jevy na Zemi. Přes nejméně srovnatelné výškové rozdíly v reliéfu je předpokládána rychlost pohybu skalních hmot na Marsu podstatně menší než na Zemi. Je to právě důsledek menšího gravitačního zrychlení ( $3,76 \text{ m.s}^{-2}$ ). Na Marsu je také dosud nejvyšší známá sopka ve sluneční soustavě, a je možné, že na to má vliv i nižší hodnota gravitačního zrychlení.

Pro úplnost je vhodné také uvést gravitaci Slunce a Měsíce jako příčinu mořského přílivu a odlivu a s nimi spojených geomorfologických účinků na pobřeží.

### 3. Meteorické krátery

Meteorické krátery jako projevy působení gravitačních sil jsou tvary, které nepatří ani do skupiny exogenních ani endogenních tvarů. Ačkoli se nejedná o výjimečné rysy, geomorfologové jim věnovali jen málo pozornosti. A. A. Marakušev (34) uvádí, že v současné době je známo asi 100 struktur, které je možno s dostatečnou pravděpodobností považovat za tvary vzniklé dopadem kosmických těles. Někteří autoři uvádějí počty podstatně vyšší.

Meteorické krátery mají blízko ke kráterům sopečným. Proto se o původu některých z nich vedly dlouhé spory, včetně známého mladého meteorického kráteru v Arizoně (R. S. Dietz, 15). Některé tvary se považují za projevy kryptovulkanismu.

Problematika spojená s meteorickými krátery je velmi široká. Vedle vlastních tvarů a geologických struktur vznikají specifické typy poruše-

ní hornin (katakláza typu kuželového drcení — shatter cone), typy hornin (impaktní metamorfóza — impaktity, suevit) a minerálů (coesit, stišovit). Geomorfologie může přispět k poznání meteorických kráterů studiem způsobu transformace staršího reliéfu, stupně denudace, a tím k relativnímu datování.

Okrajově je vhodné se zmínit i o názorech, podle kterých mohla s dopadem velkých meteoritů do moře souviset některá náhlá vyhynutí živočichů. Např. D. V. Ager [2] cituje D. J. McLaren, podle něhož by pád gigantického meteoritu do Atlantského oceánu vyvolal vlnu vysokou 20 000 stop (asi 6600 m) s velkým vlivem na mělkovodní mořskou faunu. Takový jev by musel mít pochopitelně i odpovídající následky geomorfologické.

#### 4. Kůry zvětrávání

##### 4.1 Kaolinické zvětralin y

V současné době patří k velmi intenzívně studovaným procesům chemické i mechanické zvětrávání hornin. Největší pozornost se věnuje kůrám kaolinického typu, které mají také velký praktický význam. Podle W. D. Kellera [27] kaolíny vznikají: a) klimaticky, zvětráváním v teplých humidních podnebních, b) hydrotermálně, působením roztoků přicházejících z hloubky, c) krystalizací z jemnozrnných sedimentů vhodného chemického složení. Často se uvažuje vznik kaolínů v kontextu s humínovými kyselinami, popřípadě CO<sub>2</sub> obsaženým v hydrotermálních roztocích.

Jak ukazuje přehled J. Vachtla [41], na genezi kaolínových ložisek v Evropě neexistuje jednotný názor. Pozoruhodné je, že v západní Evropě se všeobecně dává přednost původu hydrotermálnímu, ve východní klimatickému. Přitom se jedná o ložiska často nepřilíš vzdálená, na stejném podkladu a v podobných morfostrukturních podmínkách. Hydrotermální původ se předpokládá u anglických ložisek v Dartmooru (C. M. Bristow, 7). Je to oblast v níž D. L. Linton [30] založil svou dvoufázovou teorii vývoje torů. Hydrotermální vznik se předpokládá také u některých ložisek v NSR, která regionálně patří k českému masívu.

Řada výzkumů naznačuje, že některé kůry a ložiska mohou být produktem obou procesů. Např. W. D. Keller cituje práci C. M. Bristowa, podle kterého britská ložiska v Cornwallu vznikla tak, že granit byl kaolinizován nejprve hydrotermálně a poté následovala kaolinizace zvětrávacími procesy. K podobnému závěru dospěli J. C. Dixon a R. W. Young [16] pokud jde o genezi hlubokých písčitých zvětralin v jv. Austrálii. Horniny byly pro klimatické zvětrávání připraveny hydrotermálním působením magmatických roztoků. C. D. Ollier [36] vznesl proti této interpretaci námitky ve prospěch klimatického zvětrávání. V replice však R. W. Young a J. C. Dixon [43] svá tvrzení opakují a precizují, a zdá se, že přípravná úloha hydrotermální činnosti pro další subaerické zvětrávání je skutečně mimo pochyb.

Je pravděpodobné, že určitou přípravnou funkci mohou mít i procesy autometamorfózy (viz např. H. J. Lippert et al., 31, pro ložisko Wiesau-Tirschereuth v NSR, v pánvi, která je zhruba prodloužením Pod-

krušnohorských pánví směrem k JZ). V citovaných pracích se předpokládá, že hydrotermální činnost klimatické zvětrávání časově předcházela. Nepochybně však mohou oba procesy probíhat i současně. Procesy tropického chemického zvětrávání v Evropě byly v geologické minulosti sice intenzivní, ale podle paleoklimatických rekonstrukcí působily po omezenou dobu a byly přerušovány za fázi aridnějšího podnebí. V Evropě našich šířek byly v terciéru optimální podmínky pro vznik hlubokých jílovitých zvětralin v eocénu (G. H. Dury, 17) popřípadě spodním oligocénu (M. Schwarzbach, 39). Mladší zvětralininy s obsahem kaolinitu mají již spíše písčité charakter. Naproti tomu v oblastech mladého platformního vulkanismu, jakou jsou např. některé části českého masívu, hydrotermální procesy spojené se sopečnou aktivitou trvaly nepřetržitě po desítky miliónů let, i když v omezeném rozsahu a se sestupným trendem. Může být tedy otázkou, zda na cestách výstupu termálních vod, kterými jsou obvykle poruchová pásma velkého hloubkového dosahu, nemohlo k hydrotermálnímu ovlivňování hornin docházet i v době intenzivně klimaticky podmíněného utváření kaolínů, popřípadě zda k němu nedochází ještě v přítomné době.

#### 4. 2 Klastické materiály z neopracovaných úlomků

V současné době, kdy převládá klimatická geomorfologie, jsou hrubozrnné neopracované klastické sedimenty většinou oprávněně považovány za výsledek mechanického zvětrávání. Při tom se u tohoto typu zvětrávání obecně uznává úloha puklinové tektoniky, břidličnatosti apod. Přisuzuje se jim však jen pasivní význam. Důležitá je intenzita porušení hornin. Ojedinelé pukliny budou mít z hlediska utváření ostrohranných úlomků jinou úlohu než drcená pásma. Zde je někdy „příprava“ materiálu tak dokonalá, že zvětrávání není ve skutečnosti nutné a za příznivé topografické situace stačí pouze rozvolnění a vhodný transportační materiál. Na nutnost rozlišovat podle vnějšího vzhledu produkty katakláze a mechanického zvětrávání poukázal na příkladech z italských Abbruz J. Demangeot (12). O vzniku kataklastických materiálů přináší v poslední době zajímavé údaje výzkum zemětřesení. Podle současných představ se období před zemětřesením dá rozdělit ve tři přípravná stadia. Druhé z nich se označuje jako stadium dilatace a je charakterizováno vývojem nových a otvíráním starých puklin (srov. Z. Kukul, 29). Geomorfologickými aspekty tohoto jevu se zabývali zejména francouzští autoři (B. Bousquet et al. 6; B. Kaiser, 26). Obrovské akumulace hrubých klastických sedimentů při úpatí velkých zlomových svahů jsou považovány za společný produkt seismotektonické přípravy hornin a klimamorfogeneticky podmíněných svahových procesů.

#### 5. Říční údolí

Údolí jsou tvary, jejichž exogenní a endogenní původ se diskutuje snad nejdéle. Lze na nich demonstrovat, jak i přes vzrůstající znalosti se problém opakovaně vrací a objevují se velmi extrémní hlediska. Je to však pochopitelné. I. F. Zubkov (44) říká: „Výskyt protikladných názorů na tentýž jev je asi nevyhnutelnou podmínkou vzniku problé-

mu jako reálně uvědomělého a pochopeného gnoseologického fenoménu. Jejich protikladnost vystupuje jako zdroj vývoje poznání. Bez boje názorů není věda možná.“ Ještě dále jde C. R. Twidale (40), podle kterého: „... vědecká disciplína, která nepodporuje nebo alespoň netoleruje výstřední názory, je odsouzena k zániku.“ Ve sporech o původ říčních údolí byly extrémní názory velmi časté. V minulém století byly názorové rozdíly na vznik údolí jednou ze sporných stránek mezi stoupenci katastrofismu a evolucionismu, u erozního výkladu označovaného jako fluvialismus.

Zvláště zajímavé jsou názorové zvraty v raných obdobích britské geomorfologie, asi do 80. let minulého století (G. L. Davies, 11). Po krátkém období erozního pojetí vzniku údolí v pracích J. Huttona a J. Playfaira, převládly zhruba v letech 1810—1860 názory o tektonickém původu. Údolí byla považována za obrovské zející trhliny vzniklé při tektonických zdvizích. Již tehdy bylo tektonické pojetí zdůvodňováno matematicky. Např. v r. 1841 matematik J. Hopkins „... prozkoumal Weald a využil matematiky k tomu, aby prokázal, že během zdvihu této klenby se musely otevřít příčné a podélné trhliny přesně v místech, kde jsou dnes směrná a příčná údolí. Jen málo geologů ovládalo matematiku natolik, aby mohli Hopkinsovo zdůvodnění pochopit, přesto však byli ovlivněni zřejmou snadností, s jakou může matematika řešit celou řadu složitých geologických problémů“ (G. L. Davies, 11). Nicméně začátkem osmdesátých let, tedy ještě před nástupem Davisova geografického cyklu, plně převládl názor, že údolí jsou výsledkem exogenní činnosti.

V cyklové teorii, zejména v tzv. „normálním cyklu“ se přikládal zásadní význam erozi tekoucí vodou. Tím byly určeny i názory na vznik říčních údolí. Význam disjunktivní tektoniky se nepopíral, její úloha však byla považována pouze za pasívní (např. při vzniku pravoúhlé říční sítě). Omezený vliv aktivní tektoniky vyplýval i z předpokladu velmi krátkého zdvihu na začátku cyklu.

Trend k čistě exogennímu pojetí údolí ještě zesílil s nástupem klimatické geomorfologie (viz např. definici údolí J. Büdela, 8). Byly však i odlišné názory, založené na výzkumech v tektonicky aktivních oblastech. Např. četná údolí, vzniklá pohyby zlomových ker, popsal z Nového Zélandu C. A. Cotton (10).

Problém aktivní účasti endogenních procesů na vzniku údolí se objevuje znovu s rozvojem neotektoniky a strukturně geomorfologického výzkumu. Zastánci této účasti se tentokrát mohou opírat o výsledky různých pomocných disciplín. U nás šel v tomto směru nejdále L. Loyda (32), který považuje údolí v podstatě za tektonické prolomy. Tento názor opírá hlavně o výsledky opakovaných přesných nivelací. Podle našeho názoru má toto pojetí řadu slabin (A. Ivan, 22).

Reálnější se zdají být představy E. Gerbera a A. E. Scheideggera (19), kteří spojují ve výkladu vzniku údolí jak exogenní, tak endogenní (aktivně působící) faktory. Vycházejí z teze blízké koncepci J. Demangeota o endodynamice, že na každý povrch trvale působí oba druhy sil. Zemský povrch nepředstavuje sice ekvipotenciální plochu zemské tíže, rozdíly jsou přesto trvale vyrovnávány exogenními procesy. Musí proto působit také endogenní síly, jejich činnost však není v krátké době lidské existence zřejmá. Panuje proto dojem, že endogenní procesy patří do dávné minulosti, pro pochopení vývoje údolí lze

vycházet z nějakého prapovrchu z konce orogeneze a utváření údolí je tedy pouze exogenní záležitost. Toto oddělování primárně endogenních a časově druhotných exogenních procesů je však v zásadě nesprávné. Tak jako není akce bez reakce, neexistuje také hraniční plocha exogenních sil bez protikladné endogenní složky.

Rozhodující význam pro základání údolí má uspořádání napětí v horninách. Např. ve Východních Alpách se hlavní tektonické napětí, které mělo směr S — J, projevilo kompresí. Nejmenší napětí mělo směr zemské tíže a střední napětí směr V — Z. Podle známého modelu E. M. Andersona muselo dojít ke vzniku poruch kolmých na směr hlavního napětí. Podélná alpská údolí směru V — Z, která představují hlavní systém odvodnění pohoří, korespondují právě s těmito poruchami.

Vrátíme-li se k citaci z práce G. L. Daviese, týkající se matematicky odvozené shody údolí a poruch ve Wealdu, musí nás napadnout zřejmá analogie a cyklický návrat problému. Zároveň však vidíme velký rozdíl v kvalitě argumentace. E. Gerber a A. E. Scheidegger jdou ovšem ještě dále. Předpokládají, že linie oslabení vzniklé tahovými napětími, na něž jsou vázána podélná údolí, se ustálily jako zlomové rýhy (Bruchkerben) a erozní procesy takto založenou síť dále stabilizovaly. S tím souvisí i údolní (dilatační) pukliny probíhající rovnoběžně s údolními svahy a zdánlivý problém, co bylo dříve, zda údolí či pukliny. Zde máme co dělat s jevem autoregulace. I malé narušení původního stavu, např. vznik tahové pukliny, vede k dalšímu prohlubování vzniklé nerovnováhy, v daném případě ke koncentraci odtoku a erozi, což prostřednictvím odtížení vede k utváření dilatačních puklin. Ty umožňují pronikání další vody do horniny, zvětrávání, pohyb hmot, tedy rozšiřování údolí, které zvětšuje odtížení a vyvolává vznik nových dilatačních puklin atd. Při tom nemůže být pochyb o práci vykonané exogenními procesy, zejména transportními a procesy svahové modelace.

V souhrnu představuje koncepce předložená E. Gerberem a A. E. Scheideggerem značný pokrok, i když všechny problémy zdaleka neřeší (např. naložená údolí, vliv klimatických oscilací, erozní báze, vlivy starších poruchových systémů apod.). Koncepce vzniku říčních údolí, která by plně dialekticky skloubila vlivy endogenních i exogenních sil, tedy stále ještě chybí.

Pokud se týká českého masívu, v řadě geomorfologických prací byla již dříve doložena závislost mezi disjunktivní tektonikou a údolními, indikující dnes všeobecně uznávanou blokovou stavbu. Předpokládaná síť zlomů byla daleko hustší než na geologických mapách. Na druhé straně nebyla doceněna úloha tektoniky puklinové. Je nepochybné, že četná údolí v českém masívu vznikala současně s utvářením mladých morfostruktur. Tento aspekt bude třeba skloubit s prvky tektonické predispozice, dokázanými v řadě regionálních geomorfologických prací (např. J. Krejčí, 28; J. Demek — T. Czudek, 14, aj.). V důsledku intenzivního rozčlenění platformního základu starými zlomovými a puklinovými systémy, mohly mít tyto prvky disjunktivní tektoniky mnohdy na základání údolní sítě větší vliv než směry napětí v horninách. Nejčastěji se však oba vlivy různě kombinovaly. Názorné příklady vidíme zejména na klenbových, zlomově porušených morfostrukturách jv. okraje českého masívu (M. Hrádek — A. Ivan, 21) a klenbově deformovaných okrajových svazích, kde nacházíme např. vějířovité údolní sítě s výrazně výškově asymetrickými příčnými profily údolí.



## 6. Závěry a náměty pro další výzkum

1. I když práce nevyčerpává problematiku v celé šíři (nejsou např. diskutovány složité geomorfologické aspekty izostaze), ukazuje jednak mezery v klasifikacích geomorfologických procesů a tvarů, jednak to, že dosavadní chápání souborů endogenních a exogenních procesů a zejména jejich vztahů bude třeba změnit. Endogenní a exogenní síly působí většinou protikladně, v řadě případů se však jejich účinky sčítají.

2. Diskusi by bylo možno rozšířit o další tvary. Např. u ostrovních hor, které jsou tak častým objektem klimamorfogenetických výzkumů, je zřejmá souvislost vztahů mezi endogenními a exogenními silami z toho, že existují tři možné způsoby jejich vzniku: a) tektonický — z hrástových ker, b) strukturní — vypreparováním petrograficky odolnějších nebo méně rozpukaných hornin, c) skulpturní — běžným erozně denudačním vývojem, např. rovnoběžným ústupem svahů (viz H. Wilhelm, 42). Zdá se, že v granitoidních oblastech českého masívu mohlo docházet ke vzniku ostrovních hor všemi třemi způsoby (A. Ivan, 23). Podobně byly předloženy různé modely vzniku krasových poljí.

3. Podobně jako geologie, měla by i geomorfologie využívat podnětů získaných výzkumem Měsíce a planet naší sluneční soustavy, které jsou modelovány odlišnými soubory procesů. Týká se to také uplatnění vlivů gravitace, vzniku kráterů a exogenních procesů. Podnětné jsou zejména geomorfologické jevy na Marsu. Vedle již zmíněných sesuvů a projevů sopečné činnosti to jsou prachové bouře a specifický reliéf, v němž údolí představují obdobu říčních koryt a jehož jedinou analogií na Zemi jsou tzv. Scablands na západě USA (R. V. Baker, 3).

4. Při studiu vlivů tektoniky na utváření říčních údolí byl, jak se zdá, přeceněn vliv zlomů na účet puklin. Tento problém, stejně jako další aspekty disjunktivní tektoniky ve vývoji údolí, by měly být bezprostředním úkolem morfostrukturní analýzy a morfotektoniky právě v takových oblastech, jakou je český masív.

### Literatura:

1. ADAMS J.: Contemporary uplift and erosion of the Southern Alps, New Zealand. Summary. Geol. Soc. Amer. Bul., 91, Boulder 1980, Part I., č. 1, s. 2—4.
2. AGER D. V.: The nature of the stratigraphical record. London, Macmillan 1973, 114 s.
3. BAKER R. V.: A preliminary assessment of the fluid erosional processes that shaped the martian outflow channels. In: Benchmark papers in geology, 55, Stroudsburg, Dowden, Hutchinson and Ross Inc. 1981, s. 333—351.
4. BAKKER J. P., LEVELT Th. W. M.: An inquiry into probability of a polyclimatic development of peneplains and pediments (etchplains) in Europe during Senonian and Tertiary Period. In: Publication Service géologique du Luxembourg, 14, Luxembourg 1964, s. 27—75.
5. BIROT P.: Creusement des vallées et néofracturation des roches compactes. Bull. Assoc. Géogr. Franc., 58, Paris 1981, č. 478, s. 139—143.
6. BOUSQUET B. et al.: Séismes et géomorphologie autour du bassin méditerranéen. Bull. Assoc. Géogr. Franc., 58, Paris 1981, č. 478, s. 145—153.
7. BRISTOW C. M.: Kaolin deposits of the United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland. In: International Geological Congress. Report of the twenty-third session Czechoslovakia 1968, 15, Proceeding of symposium 1, Praha, Academia 1969, s. 275—288.
8. BÜDEL J.: Klima-Geomorphologie. Berlin—Stuttgart. Gebrüder Borntraeger 1977, 304 s.

9. CAILLEUX A.: Satellites, planetes, Terre: géomorphologie compare. Bull. Assoc. Géogr. Franc., 54, Paris 1977, č. 444, s. 185—194.
10. COTTON C. A.: Tectonic scarps and fault valleys. Geol. Soc. Amer. Bul., 61, Baltimore 1951, č. 7, s. 717—758.
11. DAVIES G. L.: The Earth in decay. A history of british geomorphology, 1578—1878. London, MacDonald 1969, 390 s.
12. DEMANGEOT J.: Géomorphologie des Abruzzes Adriatiques. Paris. Éditions CNRS 1965, 403 s.
13. DEMANGEOT J.: Qu'est-ce que l' „endodynamique? Bull. Assoc. Géogr. Franc., 58, Paris 1981, č. 478, s. 127—131.
14. DEMEK J., CZUDEK T.: Geomorfologické poměry Jilmového potoka na Tepelské vrchovině. Sborník ČSZ, 62, Praha, NČSAV 1957, č. 3, s. 193—205.
15. DIETZ R. S.: Astroblemes. Scientific American, 205, San Francisco, W. H. Freeman 1961, č. 2, s. 50—58.
16. DIXON J. C., YOUNG R. W.: Character and origin of deep arenaceous weathering mantles on the Bega batholith, Southeastern Australia. Catena, 8, Braunschweig, Catena Verlag 1981, č. 1, s. 97—109.
17. DURY G. H.: Relict deep weathering and duricrusting in relation to the paleoenvironments of middle latitudes. Geogr. Journal, 137, London, Roayl Geographical Society 1971, č. 4, s. 511—522.
18. FLORENCOV N. A.: Očerki strukturnoj geomorfologii. Moskva, Nauka 1978, 238 s.
19. GERBER E., SCHEIDEGGER A. E.: Anordnungsmuster von alpinen Tälern und tektonische Spannungen. Verhandlungen Geol. B. A., Wien 1977, č. 2, s. 165—188.
20. HOLMES A.: Principles of physical geology. London and Edinburg, Nelson 1965, 1288 s.
21. HRÁDEK M., IVAN A.: Neotektonické vrásno-zlomové morfostruktury v širším okolí Brna. Sborník ČSZ, 79, Praha, Academia 1974, č. 4, s. 249—257.
22. IVAN A.: K problému tektonických pohybů při vzniku a vývoji údolních tvarů. Sborník ČSZ, 79, Praha, Academia 1974, č. 1, s. 40—47.
23. IVAN A.: Některé morfostrukturní rysy reliéfu na granitoidech Českého masívu. In: Geomorf. konference, Praha, Univerzita Karlova 1983, s. 53—59.
24. IVAN A.: Tektonicko-gravitační struktury v kerném reliéfu okolí Brna. In: Sborník prací, 1, Brno, GGÚ ČSAV 1983, s. 149—162.
25. JACOBY W. R.: Gravitational instability and plate tectonics. In: Gravity and tectonics. New York, John Wiley, 1973, s. 17—33.
26. KAISER B.: Role de fragmentation tectonique et de la décompression en Vanoise. Bull. Assoc. Géogr. Franc., 58, Paris 1981, č. 478, s. 155—161.
27. KELLER W. D.: Kaolin — a most diverse rock in genesis, texture, physical properties and uses. Geol. Soc. Amer. Bul., 93, Boulder 1982, č. 1, s. 27—36.
28. KREJČÍ J.: Příspěvek k otázce předmiocenního reliéfu v brněnském okolí. Sborník ČSZ, 57, Praha, NČSAV 1952, s. 54—59.
29. KUKAL Z.: Přírodní katastrofy. Praha, Horizont 1983, 259 s.
30. LINTON D. L.: The problems of tors. Geogr. Journal, 121, London, Royal Geographical Society 1955, č. 4, s. 470—487.
31. LIPPERT H. J. et al.: Die Kaolinlagerstätten der Bundesrepublik Deutschland. In: International Geological Congress. Repport of the twenty-third session Czechoslovakia 1968, 15, Proceeding of symposium 1, Praha, Academia 1969, s. 85—105.
32. LOYDA L.: Ústup erozních představ. Sborník ČSZ, 77, Praha, Academia 1972, č. 3, s. 243—249.
33. LUCHITTA B. K.: A large landslide on Mars. Geol. Soc. Amer. Bul., 89, Boulder 1978, č. 11, s. 1601—1609.
34. MARAKUŠEV A. A. ed.: Impaktity. Moskva, Izd. Moskov. univ. 1981, 240 s.
35. NEMČOK A.: Zosuvy v slovenských Karpatoch. Bratislava, Veda 1982, 319 s.
36. OLLIER C. D.: Weathering or hydrothermal alternation. Catena 10, Braunschweig, Catena Verlag, 1983, č. 1, s. 57—59.
37. PYNE S.: The mind of Grove Karl Gilbert. In: Theories of landform development. Binghampton N. Y., State University of New York 1975, s. 277—298.
38. RYBÁŘ J.: Hluboké deformace horských svahů součástí gravitační tektoniky. Studia Geographica, 70, Brno, GGÚ ČSAV 1980, s. 139—146.
39. SCHWARZBACH M.: Das Klima der Vorzeit. Stuttgart, Ferdinand Enke Verlag 1961, 275 s.
40. TWIDALE C. R.: Fragile foundations: some methodological problems in geomorphological research. Revue de géomorphol. dynamique, 26, Paris, Sedes 1977, č. 3., s. 81—95.

41. VACHTL J.: Review of kaolin deposits in Europe. In: International Geological Congress. Report of the twenty-third session Czechoslovakia 1968, 15, Proceeding of symposium 1, Praha, Academia 1969, s. 13—24.
42. WILHELMI H.: Klima-Geomorphologie in Stichworten. Coburg, Hirt 1974, 375 s.
43. YOUNG R. W., DIXON J. C.: Weathering and hydrothermal alteration: critique of Ollier's argument. Catena 10, Braunschweig, Catena Verlag 1983, č. 4, s. 439—440.
44. ZUBKOV I. F.: Problém geologickej formy pohybu hmoty. Bratislava, Pravda 1980, 266 s.

### Summary

#### CONTRADICTION AND COOPERATION OF ENDOGENOUS AND EXOGENOUS PROCESSES IN GEOMORPHOLOGY

The classic concept of contradictory endogenous and exogenous forces in modelling of the earth surface is exceedingly simple from the point of view of the contemporary geomorphology. Many phenomena are explained in a very simple way or do not fit in the present classification schemes (e. g. impact craters, isostatic recovery due to denudational unloading, deglaciation or dam building, induced earthquakes). Some processes act both in the opposite and the same direction. Therefore it is necessary to develop new more acceptable concepts which would correspond better to the present state of knowledge. Some new ideas may be found in publications by A. N. Florensov (lithodynamic flow) and J. Demangeot (endodynamics).

In the first place it is necessary to stress the universal role of the gravity force involved in all endogenous and exogenous processes. It is the only force acting in all phases of the Earth's development and is quite independent from other purely geological and geomorphological processes. A special role is also played by water, important not only in exogenous but also in endogenous processes (e. g. metamorphism). The origin of many forms and phenomena is ambiguous (e. g. kaolins resulting from tropical weathering and/or hydrothermal activity; accumulations of angular debris due to frost action or desintegration of tectonic breccias). There is a group of forms and structures of a transitory character in which the scale plays an important part. Small-scale forms such as landslides are classified as exogenous, large-scale structures, e. g. gravity nappes are considered endogenous forms.

Problems of the river valley formation are discussed in much detail. In the history of geomorphology, periods of purely endogenous interpretation of river valleys alternate with those of exogenous interpretation. The present climatic geomorphology also stresses the exogenous component. In fact, both groups or processes are involved. In areas of young platforms (e. g. the Bohemian Massif) the active role of endogenous factors, especially disjunctive tectonics, is very distinct. However, in schemes stressing the influence of this tectonics, the significance of faults is overestimated, and that of joints and fissures underestimated.

*(Pracoviště autora: Geografický ústav ČSAV, Mendlovo nám. 1, 662 82 Brno.)  
Došlo do redakce 18. 3. 1985.*